

Futtermittel mit Mehrwert für Tier und Mensch

Tagungsbericht

11. Mai 2021
ETH-Zürich
Institut für Agrarwissenschaften

Futtermittel mit Mehrwert für Tier und Mensch

*Zur Emeritierung von
Prof. Dr. Michael Kreuzer*

Tagungsbericht

11. Mai 2021

Herausgeber:

M. Kreuzer, T. Lanzini, A. Liesegang, R. Bruckmaier, J. Bérard, S.E. Ulbrich

ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung

Band 43
ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung

ISBN 978-3-906466-43-4

Adresse: ETH Zürich
Institut für Agrarwissenschaften
Tierernährung / LFW
Universitätstrasse 2
8092 Zürich

Mai 2021

Futtermittel mit Mehrwert für Tier und Mensch

M. Kreuzer, T. Lanzini, A. Liesegang, R. Bruckmaier, J. Bérard, S.E. Ulbrich (Hrsg.)

Inhaltsübersicht

Seite

1 Manuskripte zu den Referaten

Ex-Food: promoting a novel and sustainable pig production by using food leftovers as feedstuff	11
<i>L. Pinotti, M. Ottoboni and M. Tretola</i>	
Insekten, Algen & Co – was ist dran?	21
<i>M. Kreuzer, I.D.M. Gangnat, K. Giller, M. Heuel, M. Keller, R. Lugarà, E. Manzacchi, M. Terranova und C. Wolf</i>	
Le potentiel des lentilles d'eau	39
<i>I.D.M. Gangnat</i>	
Futtermittel für Pferde mit Mehrwert	51
<i>B. Wichert</i>	
Valeur ajoutée des composés bioactifs végétaux pour les porcelets sevrés	55
<i>M. Girard et G. Bee</i>	
Feed oder Food? Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz in der Milchproduktion	68
<i>B. Reidy, S. Ineichen und T. Nemecek</i>	
Neuste Daten zur Zinkversorgung bei monogastrischen Nutztieren	73
<i>D. Brugger</i>	
Evaluation of milk MIR-spectra for assessment of dairy cow health at a cow-individual and at a herd level	79
<i>J.J. Gross and R.M. Bruckmaier</i>	
More than food: milk extracellular vesicles to assess animal health	85
<i>G. Silvestrelli, S.E. Ulbrich and M. Saenz De Juano</i>	

2 Aktuelle Arbeiten aus den Forschungsstätten der Tierernährung in der Schweiz

2.1 Futtermittel

Futterwert der Brennnessel: Gehalte an Protein und Energie in Stängeln, Blättern oder der Ganzpflanze <i>G. Sidler, B. Reidy und S. Ineichen</i>	90
Keimfähigkeit von Samen der Graugrünen Borstenhirse (<i>Setaria pumila</i>) in Grassilagen mit unterschiedlichem Trockensubstanzgehalt <i>C. Windlin, B. Reidy und S. Ineichen</i>	93
Erträge, Gehalte und Silagequalität von Mais-Bohnen-Gemischen <i>U. Wyss, D. Martin und A. Zemp</i>	96
Determination of suitable indicators for the proportion of grassland-based feeds in the diets of dairy cows <i>A. Birkinshaw, M. Sutter, B. Reidy, L. Jungo, S. Müller, M. Kreuzer and M. Terranova</i>	100
Relationship between the sum of temperatures and forage yield and quality of the first growth cycle in intensively managed Swiss permanent grasslands <i>P. Mariotte, E. Perotti, O. Huguenin-Elie, P. Calanca, D. Frund and M. Probo</i>	102
Wiesenschwein: Gesundes Fleisch von glücklichen Tieren <i>M. Müller Richli, E. Harms, M. Holinger und M. Scheeder</i>	106
Frischfütterung von Esparsette oder Klee gras an Milchkühe: Methanproduktion und Leistungsmerkmale <i>A. Münger, L. Eggerschwiler und F. Dohme-Meier</i>	110
The fate of condensed tannins from <i>Acacia mearnsii</i> in dairy cows fed different silages <i>G. Lazzari, A. Münger, S. Ampuero-Kragten, S. Schrade, M. Kreuzer and F. Dohme-Meier</i>	114
Effekt von Tanninen in <i>Onobrychis</i> und <i>Quercus robur</i> auf <i>in vitro</i> Gas- und Ammoniakbildung im Pansen und Verdaulichkeit <i>H. Sutter, K. Schweingruber, M. Terranova und M. Schick</i>	117
Different combinations of plant secondary compounds to mitigate rumen ammonia production <i>G. Foggi, M. Terranova, G. Conte, A. Cappucci, M. Kreuzer and M. Mele</i>	119
Pomegranate pomace - functional feed to reduce methane and improve protein utilization and antioxidant status in dairy cows? <i>P. Niu, A. Schwarm, M. Kreuzer and K. Giller</i>	122
Alternative Fütterungsstrategien in der Intensivmast zur Erzeugung von qualitativ hochwertigem Rindfleisch in der Schweiz <i>M. Keller, M. Kreuzer, B. Reidy, A. Scheurer und K. Giller</i>	125

Efficiencia alimentaria de taurillonos a l'engras con raciones con colza, soja proteaginosas, lupino y ensilajes ricos en leguminosas en sustitucion de la harina de soja	129
<i>I. Morel, V. Nadau, J.-L. Oberson et G. Cantalapiedra-Hijar</i>	
Beeinflusst der Ersatz von Sojekomponenten durch Larvenmehl und -fett der <i>Hermetia illucens</i> die Leistung von Bio-Broilern?	133
<i>M. Heuel, C. Sandrock, F. Leiber, A. Mathys, M. Gold, C. Zurbrügg, I.D.M. Gangnat, M. Kreuzer und M. Terranova</i>	
Modulation of antioxidant effects in fattening bulls and dairy cows by spirulina intake and LPS challenge	137
<i>M. Keller, E. Manzocchi, R. Lugarà and K. Giller</i>	
Effects of a high energy diet and spirulina supplementation of sows on growth, carcass and meat quality of their offspring	140
<i>R. Lugarà, M. Kreuzer and K. Giller</i>	
Folgen der Bio-Kraftfutterreduktion bei Milchziegen	144
<i>K. Messmer und M. Boessinger</i>	
Futtermittel für Wildtiere - Für Tier? Oder Mensch?	148
<i>A. Gimmel und A. Liesegang</i>	
Optimierung der Schweizer Futtermittelbewertung für Wiederkäuer mit Blick auf Deutschland und Frankreich	152
<i>S. Buri und M. Boessinger</i>	
 2.2 Physiologie und Gesundheit	
Optimierung der Aminosäureversorgung bei Tränker für die Grossviehmast	156
<i>R. Bolt und C. Willi</i>	
Effect of decreasing levels of hemicelluloses in lactating sow's diet on milk composition and offspring development	159
<i>F. Palumbo, G. Bee, P. Trevisi, R. Badertscher, C. Egger and M. Girard</i>	
Amino acid composition of the uterine fluid and blood plasma on days 10, 12 and 14 post-insemination in the pig	162
<i>M. Schmidhauser, V. van der Weijden, V. Floeter and S.E. Ulbrich</i>	
Genetic potential for improving protein efficiency in pigs	164
<i>E. Ewaoluwabemiga, H. Pausch, G. Bee and C. Kasper</i>	
Successful dietary support of a dog diagnosed with Lafora disease - a case report	167
<i>K. Gerstner and A. Liesegang</i>	
Nutritional approach to a multimorbid cat with urolithiasis and food intolerance	171
<i>H. Opsomer, K. Gerstner and A. Liesegang</i>	

Evaluation of the nutritional content of the ration and bone density measurement in early bred gilts suffering from lameness in a pig farm in Switzerland. A case report. <i>A. Giordanella, B. Wichert and A. Liesegang</i>	175
Zusammenhänge von verschiedenen Zahnabriebsparametern beim Meerschweinchen <i>L.F. Martin, D. Winkler, T. Tütken, T.M. Kaiser, D. Codron, J.-M. Hatt und M. Clauss</i>	181
Metabolic effects of dietary restriction in major urinary protein knockout mice <i>S. Greve, G.A. Kuhn and K. Giller</i>	183
IVF supplementation with theophylline improves <i>in vitro</i> developmental rates and maintains embryo quality <i>S. Bernal-Ulloa and S.E. Ulbrich</i>	186
Intradermal vaccination – an underestimated method deserving new attention <i>B. Drews and S.E. Ulbrich</i>	190
 2.3 Neue Methoden und Anwendungen	
Classification accuracy of feeding and rumination behaviour of small ruminants using a jaw movement recorder <i>R. Berthel, A. Deichelbohrer, F. Dohme-Meier and N. Keil</i>	192
Die Futteraufnahme weidender Milchkühe ausschliesslich anhand des Fress- und Wiederkauverhaltens schätzen <i>F. Schori, M. Rombach, A. Münger und K.-H. Südekum</i>	194
Was sagt uns der Milchharnstoffgehalt? <i>A. Decker, S. Schrade, M. Keller, F. Dohme-Meier und M. Zähler</i>	198
An <i>in vitro</i> model system for studying rumen microbiome in absence of methane production <i>Y. Li, M. Kreuzer, M.-O. Ebert, C. Kunz and M. Terranova</i>	202
NMVOC-Emissionen aus Milchviehställen - Vergleich einer silofreien Ration mit einer Silageration <i>M. Zähler, S. Wyss, F. Dohme-Meier, K. Zeyer, M. Hill, J. Mohn und S. Schrade</i>	205
Wirtschaftlichkeit der Neuweltkamelidenhaltung Schweiz <i>P. Hofmann und M. Boessinger</i>	209
Assessing feed efficiency through blood and milk nitrogen isotope enrichment in grazing dairy cows <i>T. Haak, A. Münger, K.-H. Südekum and F. Schori</i>	213
Study of potentially damaging behaviour of fattening pigs – relationship with protein efficiency <i>L. Roch and C. Kasper</i>	216
Methanemissionen von Geflügel – eine Pilotstudie mit Broilern <i>M. Terranova, M. Kreuzer, S.L. Amelchanka, R. Jendly und M. Clauss</i>	219

Ex-Food: promoting a novel and sustainable pig production by using food leftovers as feedstuff

L. Pinotti¹, M. Ottoboni¹ and M. Tretola^{1,2}

¹Department of Health, Animal Science and Food Safety, VESPA, University of Milan, Milano, Italy

²Agroscope, Institute for Livestock Sciences, Posieux, Switzerland

Contact: Luciano Pinotti, luciano.pinotti@unimi.it

Abstract

The use of alternative feed ingredients in farm animal diets is interesting from several perspectives. Ex-foods, also known as Former Food Products (FFPs), are one way of converting losses from the food industry into ingredients for the animal feed industry, thereby keeping nutrients in the food chain. Based on their nutritional features, these materials are extremely rich in carbohydrates, free sugars and, depending on their origin, also in fats. In addition, FFPs are often characterized by a high degree of processing including technological and heat treatments which can affect not only the availability of nutrients and the kinetics of digestion, but also gastro intestinal health and animal response. This review integrates some of the most recent published works about the chemical composition, nutritional value, digestibility and glycemic index of ex-foods. In addition, a view on the relationship between the use of FFPs and safety issues and their effects on intestinal microbiota are also given.

Keywords

Former foodstuff, ex-food, alternative feed ingredients, in vitro digestion, predicted glycemic index, gut microbiota, feed safety.

1. Introduction

Nowadays agriculture, and even more livestock production, are faced with a wide range of complex challenges. From the perspective of the sustainability, livestock production has received considerable attention in recent years over the extent to which animal feed production competes for land and other resources with production of human food. Livestock consume a third of all cereals produced and use about 40 percent of global arable land. In fact, farm animals occupy 2 billion ha of grasslands, of which about 700 million ha could be used to grow crops. However, 86 percent of the plant material fed to livestock would be inedible by humans directly, but is instead converted into valuable food for human consumption (e.g. milk, meat), thus contributing greatly to food and nutrition security. In general, it has been estimated by Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

that about 3 kg of human-edible material, mostly grains, are needed to produce 1 kg of meat. These global figures, however, have to be carefully considered, since wide differences across species and production systems exist. While ruminants consume more dry matter per kg of protein produced, compared to pigs or poultry, they require less human-edible protein, since they can rely more on grass and forages. Pigs and poultry consume less feed to produce the same amount of protein, but a far higher proportion of what they do consume could be eaten directly by humans (FAO, 2018).

Animal feed is the most important livestock production cost factor and it represents up to 85% of the farm gate value of poultry (FEFAC, 2015). In light of this, proper feeding and nutrition is becoming increasingly important as livestock systems strive to become more efficient. In this scenario, the use of alternative feed ingredients in farm animal's diet can be an interesting option from several standpoints, and ex-food recycling is an interesting model. By definition, "Ex-food" or "Former foodstuffs" (FFPs) means foodstuffs, other than catering reflux, which were manufactured for human consumption in full compliance with the EU food law, but which are no longer intended for human consumption for practical or logistical reasons or due to problems of manufacturing, packaging defects or other defects and which do not present any health risks when used as feed (Pinotti et al., 2019). However, their nutritional value for animal feed purposes is not affected at all (Luciano et al., 2020).

It has been estimated that 3-3.5Mt of FFPs are processed in the EU (Bouxin, 2016). Ex-foods are already used in animal nutrition, but in a limited extent (3.3%) compared to the total food waste (Luciano et al., 2020). The potential of these products has not been fully exploited yet as added value products for animal nutrition.

Biscuits, bread, cereals, chocolate bars, pasta, savory snacks and candy leftovers from the food industry are all FFPs. In general, they are characterized by a high energy content since rich in sugar, starch, oil or fat (Giromini, et al., 2017; Tretola, et al., 2017a). They can thus be considered valuable energy sources (Pinotti, et al., 2019).

The target species are omnivores, such as pigs and poultry, ideally suited to convert these high-energy FFPs into high-quality food animal protein.

The evolution of livestock systems in the coming decades is inevitably going to involve a trade-off between feed security, feed safety, animal welfare, environmental sustainability and economic development. A common denominator among many of these issues, which are often politically-sensitive, is not only sustainability, but also innovation. Innovation is considered as the key factor in the field of sustainable feed/food security (Pinotti & Dell'Orto, 2011). Converting losses from the food industry into ingredients for the feed industry, thereby keeping food losses in the food chain, is considered

a virtuous practice that should be implemented worldwide (EFFPA, 2018). In these respect, this paper aims to address the state of the art about the use of ex-food in animal nutrition, with special emphasis on their national properties and safety issue.

2. Main chemical composition and nutritional values of Former food products

Former food products mainly consist of leftovers from the baking industry (i.e. bread, pasta, etc.) and confectionery products (e.g. chocolates, biscuits). Rejected bread, various cookie products, high-quality baked goods and confectionary from industrial cookie bakeries are dried and sorted, unpacked, ground and sieved to create suitable ingredients, which replace some of the existing raw materials in various pig compound feeds (Giromini, et al., 2017). In addition, limited amount of other wet or moist products are used for feed purposes, especially in the case of dairy products and beverages (Pinotti et al., 2021). The main animal targets for the use of FFPs are young animals, e.g. piglets and calves, due to the high amount of digestible carbohydrates (Pinotti et al., 2021). Based on the nutritional facts reported for humans, FFPs are extremely rich in carbohydrates, and depending on their origin, also in fats (Pinotti et al., 2021). Therefore, FFPs have a high nutritional value for animal feed because of their high energy content (Kaltenegger et al., 2020). These properties have been extensively addressed by Giromini and co-workers (2017), who reported that FFPs has a nutritional composition similar to wheat grain and barley, although with a higher energy (metabolisable energy, ME) content (Figure 1). The ME value reported for FFPs was 16.95 MJ kg⁻¹ with fats and starch being the main contributors in such energy content.

FFPs are important sources of lipids which reach about 10%, i.e. six times higher than in wheat (<2%). The FFP starch content is also relevant, reaching on average 50-60% a dry matter basis (DM). Former food products have also shown high digestibility values, which in the above mentioned study (Giromini et al., 2017) ranged from 79 up to 93% DM, according to the ex-food mixture used in their preparation. The overall mean protein content in the FFPs was about 10.0%, and therefore they cannot be considered a valuable protein source. Thus, although these results should be interpreted with caution since they are case sensitive (they represent just a few examples of different ex-foods found on the feed market), we can affirm that FFPs are energetic feed ingredients with a high value for feeding animals.

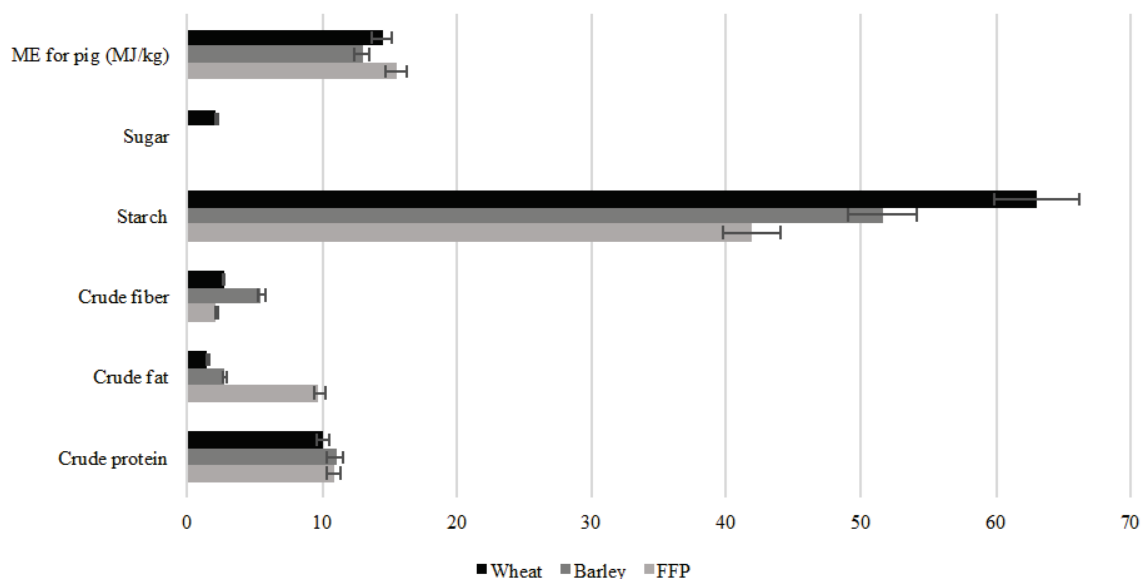


Figure 1. FFP nutrient composition (expressed as % of DM). Adapted from Pinotti et al. (2019b) and Luciano et al., (2020)

Another interesting aspect of FFPs is their free/simple sugar content which affects not only the digestion kinetics of carbohydrates but also the glycemic index potential (Ottoboni et al., 2019). The glycemic index was originally introduced in human nutrition to classify starchy foods based on their post-prandial glucose release in the bloodstream (Giuberti, Gallo, & Masoero, 2012). In the livestock sector, the glycemic index was traditionally used in equine nutrition (Kronfeld, Treiber, & Geor, 2005), specifically concerning disorders associated with carbohydrate metabolism in racing horses. However, Menoyo et al., (2011) also introduced this concept for pig nutrition, classifying cereals according to their glycemic index. In addition, cereals with a high glycaemic index lead to increased insulin production over time and a subsequent increased feed intake.

3. Nutritional Features of Former food products

As previously reported (Pinotti et al., 2021), due to the origin of the raw materials (food leftover) used, FFPs are often heat-treated. As a result, they are characterized by a higher digestibility compared to the cereal grains commonly used in pig nutrition. It is known that starch processing can modulate the kinetics of starch digestion (Figure 2) (Ottoboni, et al., 2019) and the glycaemic index (Giuberti, Gallo, & Masoero, 2012). For this reason, a higher Hydrolysis Index (HI) and predicted Glycaemic Index (pGI) have been observed in FFPs compared to unprocessed corn (Ottoboni, et al., 2018; Ottoboni, et al., 2019). Since carbohydrates represent the main energy source of a pig's diet, it is important to take into account the variability of HI and pGI in the different FFPs for a balanced

diet. An extensive functional evaluation is essential for the safe use of FFPs, and particularly for assessing their impact on animal welfare and gut health.

Research have demonstrated that a high-sugar diet can lead to a production of soft faeces in pigs when simple sugars are fed (Mavromichalis, 2012). This is comparable to the lactose effect and is not the cause of pathogenic diarrhea (Mavromichalis, 2012). However, gut health is essential for optimal wellbeing, production and feed efficiency. A piglet's gut, for instance, is a complex environment that changes rapidly in size. It has high protein turnover rates and undergoes rapid changes in microbiota composition and digestion functions. Bacteria, fungi, and viruses, in fact, populate the entire gastrointestinal tract (GIT) (Fouhse, Zijlstra, & Willing, 2016).

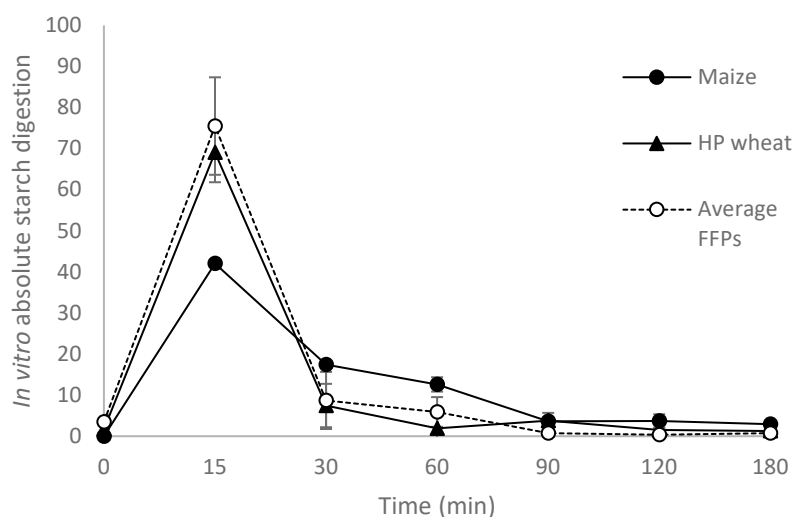


Figure 2. Time course of average absolute in vitro total carbohydrate digestion (as a fraction of total carbohydrates /min) of cereal grains (unprocessed maize and heat processed wheat) and former food products (FFPs). (adapted from Ottoboni et al., 2019).

One of the various functions of gut bacterial communities is to break down complex cell wall polymers using different bacterial enzymes such as glycosidases, proteases and peptidases (Salyers, Reeves, & D'Elia, 1996), degrading them into smaller components such as sugars or amino acids. Because of the bacterial fermentation, they produce short chain fatty acids (SCFAs) together with other carboxylic acids, which have several positive effects on the GIT health.

Understanding how FFPs can influence the gut ecosystem is also important for an efficient use of these alternative feed ingredients. In this respect, in vivo trials investigating the effects of FFPs on growth performance (Tretola, et al., 2019b) and gut microbiota were recently performed (Tretola, et al., 2019c). In these studies, the authors evaluated the effects of substituting 30% conventional cereals for 30% FFP in post-weaning piglet's diets (Tretola, et al., 2019a). The results revealed that both in

in vitro and in vivo digestibility values were higher for FFP diets compared to the control diets. Both average daily gain and feed intake were not affected by dietary treatment. Conversely, piglets on the FFP diet showed a lower feed conversion rate. Taken together, these results suggest that the use of FFPs up to a level of 30% in post-weaning diets has no detrimental effects on pig growth performance. Moreover, the gut microbiota showed no major alterations in microbial taxa composition (Tretola, et al., 2019c). Specifically, FFPs diet decreased the bacterial richness and evenness in the large intestine while minor differences have been observed in taxa composition. Moreover, at the end of the trial FFP diet increased the amount of the Proteobacteria phylum and decreased the abundance of Lactobacillus genus, compared to the control diet. Similarly, the main changes in the FFP group over time affected the Bacteroidetes, which increased during the first period ($27.7 \pm 2.56\%$ and $48.2 \pm 3.49\%$ in day 0 and day 8, respectively), and decreased again to the original values ($29.7 \pm 6.01\%$) in the last sampling time day 16 (Figure 3). The core microbiota composition was slightly affected, while no differences between the two groups over time in the gut microbiota composition at the phylum level have been observed.

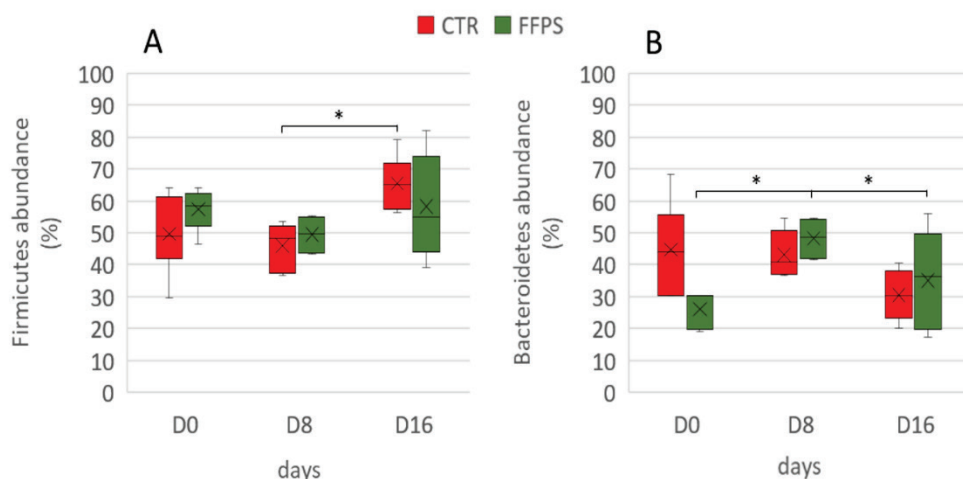


Figure 3. Temporal changes in Firmicutes and Bacteroidetes phyla in CTR (red boxes) and FFP (green boxes) groups. The proportions of Firmicutes (A) and Bacteroidetes (B) are shown for post-weaning piglets at days 0 (D0), day 8 (D8) and day 16 (D16) of the experiment. The lower boundary of the box is the 25th percentile, the line and the cross within the box mark the mean indicators, and the upper boundary of the box indicates the 75th percentile. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles; the symbol * indicates P-values < 0.01 (source Tretola et al, 2019c)

However, besides the nutritional characteristics, the application of FFPs in animal nutrition has another considerable advantage in terms of feed manufacturing. As stated above, FFPs are energy rich ingredients characterized by a high lipid content, already embedded in the food matrix. This characteristic facilitates their manipulation and processing during feed production, since exogenous lipid

sources need not be added (Georganas et al., 2020). It is thus clear that from a circular economy perspective FFPs are characterized by valuable nutritional characteristics and are a sustainable option in terms of limiting food losses. All these features make the reprocessing of FFP biomass a highly attractive, sustainable and abundant source of nutrients for the feed sector.

However, several challenging aspects need to be considered when adding alternative feed ingredients to conventional feed (Lemenager, et al., 2006). One example is the variable nutrient content, but also the variation in the availability between different batches, the effects on animal performance, end-product quality, as well as their handling, storage and processing. In addition, other safety aspects need to be considered when using FFPs in animal diets.

4. Safety Issues

Depending on the type, recycling ex-food in the feed sector involves a combination of different processes such as collection, unpacking, mixing, grinding and drying, which might affect not only the quality but also the safety in several ways (Pinotti et al., 2021). Although ex-food is nutritious and safe from a microbiological point of view, there are other safety issues such as those related to the presence of packaging remnants. Packaging materials are generally not accepted as a feed ingredient in accordance with the feed standard regulations.

One of the main categories of former food products intended for feeding purposes is bakery co-by-products such as bread, biscuits, waffles, and breakfast cereals. In the current practice of food production, proper packaging materials are essential for assuring quality maintenance during transport and storage. Materials used for food packaging and their original appearance can vary widely based on material characteristics and on the processing method adopted during the feed production. Paper, board, and carton, for example, change their original appearance producing paper fibres, with high abundance in the FFPs (van Raamsdonk et al., 2011). The most common packaging material in food industries is plastic, even though resin, aluminium, and pressed paperboard are also widely used. Specifically, the main types of material used in food packaging are polyolefin such as polypropylene (usually made in black or clear, very rigid, crack-resistant; it can resist temperature up to 220 to 240°C) and polyethylene (with an average melting point of 120°C [17]); polyethylene terephthalate and its copolymers (PET that can be coloured and starts to melt before 140°C); polystyrene (which can be white, black, green, pink, yellow, or blue with a moderate temperature resistance); rigid polyvinylchloride (PVC, regenerated cellulose (RC)), pressed paperboard (made in a variety of colours and patterns and can be placed in the oven up to 200°C for one hour); and aluminium foil (silver or

coated in colours and can withstand very high heat) [<http://www.oakpackaging.com/include/assets/Materials.pdf>]. There is a large range of materials involved in food packaging (i.e. paper, coatings or aluminum foil -Tretola, et al., 2017a; Tretola, et al., 2017b-Tretola et al, 2019a), which are often characterized by a complex composition. In general, most of studies confirmed a low presence (0.10 g/100g) of presumed packaging remnants in all the FFPs analyzed.

This highlights the need for appropriate methods to detect possible packaging contaminants and their remnants in the ex-food used in the feed chain.

Conclusions

Reducing food waste by recycling, and especially by enhancing ex-food management, is an opportunity to both mitigate the environmental impact as well as being an economic resource. The use of FFPs in the production of feed is perfectly in line with the concept of the circular economy. By recognizing that FFPs that are not suitable for human consumption are a resource and not a waste product, our food industry can reduce the amount of waste sent to landfill or disposed of every year, thus saving costs and reducing the environmental impact of the food production chain. This can be achieved by an appropriate nutritional and functional assessment of FFPs in target species focusing not only on animal performance but also their well-being.

Acknowledgements

The present work has been done in the frame of the following projects:

- Sustainable feed design applying circular economy principles: the case former food in pig nutrition (SUSFEED) funded by the Fondazione Cariplo, call "Economia circolare: ricerca per un futuro sostenibile" Ref: 2018-0887;
- ASSO Funded By Regione Lombardia (prot. domanda M1.2018.0067500).
- Progetto di Grande Rilavenza IT-RS "Sustainable animal nutrition" (SUN) funded the Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale.

References

- Bouxin, A. (2016): Use of food co-products in the feed sector: opportunities and challenges. Tratto da http://www.elc-eu.org/uploads/news_documents/FEFAC_-_Food_co-products_in_feed.pdf
- EFFPA. (2018): Keeping food losses in the food chain. Tratto da European Former Foodstuff Processors Association: <http://www.fffpa.eu/>
- Flachowsky, G. and Meyer, U. (2015): Challenges for plant breeders from the view of animal nutrition. *Agriculture*, **5**: 1252-1276
- Fouhse, J., Zijlstra, R. and Willing, B. (2016): The role of gut microbiota in the health and disease of pigs. *Animal Frontiers*, **6**: 30-36

- Georganas, A., Giamouri, E., Pappas, A.C., Papadomichelakis, G., Galliou, F., Manios, T. and Zervas, G. (2020): Bioactive compounds in food waste: A review on the transformation of food waste to animal feed. *Foods*, **9**(3): 291
- Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M., Marchis, D., Gottardo, D., Caprarulo, V., Baldi, A. and Pinotti, L. (2017): Nutritional evaluation of former food products (ex-food) intended for pig nutrition. *Food Additives and Contaminants Part A*, **34**: 1436-1445
- Giuberti, G., Gallo, A. and Masoero, F. (2012): Plasma glucose response and glycemic indices in pigs fed diets differing in in vitro hydrolysis indices. *Animal*, **6**: 1068-1076
- Kaltenegger, A., Humer, E., Stauder, A. and Zebeli, Q. (2020): Feeding of bakery by-products in the replacement of grains enhanced milk performance, modulated blood metabolic profile, and lowered the risk of rumen acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **103**(11): 10122-10135
- Kronfeld, D., Treiber, K. and Geor, R. (2005): Comparison of nonspecific indications and quantitative methods for the assessment of insulin resistance in horses and ponies. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, **226**: 712-719
- Lemenager, R., Applegate, T., Donkin, S., Johnson, T., Lake, S., Eary, M. and Sutton, A. (2006): The value of distillers' grains as a livestock feed. Purdue University Cooperative Extension Service Cooperative Extension Service
- Luciano, A., Tretola, M., Ottoboni, M., Baldi, A., Cattaneo, D. and Pinotti, L. (2020): Potentials and challenges of former food products (food leftover) as alternative feed ingredients. *Animals*, **10**(1): 125
- Magnin, M. and Picot, A. (2015): Innovation in livestock nutrition. 1st World Conference on Innovative Animal Nutrition and Feeding. Budapest, Hungary
- Mavromichalis, I. (2012): Molasses as a feed ingredient in low-cost piglet diets". Tratto da <http://www.wattagnet.com/articles/12260-molasses-as-a-feed-ingredient-in-low-cost-piglet-diets>, x
- Menoyo, D., M., Serrano, V., Barrios, D., Valencia, R., Lazaro, J., Argente, and G., Mateos (2011): Cereal type and heat processing of cereal affect nutrient digestibility and dynamics of serum insulin and ghrelin in weanling pigs. *Journal of Animal Science*, **89**: 2793-2800
- Ottoboni, M., L., Pinotti, M., Tretola, C., Giromini, E., Fusi, R., Rebucci, M., Grillo, L., Tassoni, S., Foresta, S., Gastaldello, V., Furlan, C., Maran, V., Dell'Orto and Cheli, F. (2018): Combining E-Nose and Lateral Flow Immunoassays (LFIA) for Rapid Occurrence/Co-Occurrence Aflatoxin and Fumonisin Detection in Maize. *Toxins*, **10**: 416
- Ottoboni, M., Tretola, M., Luciano, A., Giuberti, G., Gallo, A. and Pinotti, L. (2019): Carbohydrate digestion and predicted glycemic index of bakery/confectionary ex-food intended for pig nutrition. *Italian Journal of Animal Science*. DOI:10.1080/1828051X.2019.1596758
- Pinotti, L., Luciano, A., Ottoboni, M., Manoni, M., Ferrari, L., Marchis, D. and Tretola, M. (2021): Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production. *Journal of Cleaner Production*, 126290
- Pinotti, L. and Dell'Orto, V. (2011): Feed safety in the feed supply chain. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **15**:

Pinotti, L., C., Giromini, M., Ottoboni, M., Tretola, and Marchis, D. (2019): Insects and former food-stuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal*, 1-11

Pinotti L., Ottoboni, M., Luciano, A., Savoini, G., Cattaneo, D. and Tretola, M. (2019b): Ex-food in animal nutrition: potentials and challenges pp. 47–52 in Energy and protein metabolism and nutrition, EAAP Scientific Series, Volume 138, Editor Mario Luiz Chizzotti, Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, https://doi.org/10.3920/978-90-8686-891-9_3

Pinotti, L., Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M., Cheli, F. and Baldi, A. (2016): Ex-food 4 feed: quality and safety. Celebrating Food: Proceedings, 1st edition. Novi Sad, Serbia: University of Novi Sad

Pinotti, L., Krogdahl, A., Givens, I., Knight, C., Baldi, A., Baeten, V. and Luten, J. (2014): The role of animal nutrition in designing optimal foods of animal origin as reviewed by the COST Action Feed for Health (FA0802). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **18**: 471

Salyers, A., Reeves, A., and D'Elia, J. (1996): Solving the problem of how to eat something as big as yourself: diverse bacterial strategies for degrading polysaccharides. *Journal of industrial microbiology*, **17**: 470-476

Tretola, M., Di Rosa, A., Tirloni, E., Ottoboni, M., Giromini, C., Leone, F., et al. (2017): Former food products safety: microbiological quality and computer vision evaluation of packaging remnants contamination. *Food Additives & Contaminants*. Part A.: **34**(8), 1427-1435. doi: 10.1080/19440049.2017.1325012

Tretola, M., Ottoboni, M., Di Rosa, A., Giromini, C., Fusi, E., Rebutti, R., et al. (2017b) Former Food Products Safety Evaluation: Computer Vision as an Innovative Approach for the Packaging Remnants Detection. *Journal of Food Quality*. **1-6**: doi: 10.1155/2017/1064580

Tretola, M., Ottoboni, M., Luciano, A., Dell'Orto, V., Cheli, F., Pinotti, L. (2019a): Tracing food packaging contamination: an electronic nose applied to leftover food. *Food Additives & Contaminants*. Part A. **36**: 1748-1756. doi: 10.1080/19440049.2019.1653498

Tretola, M., Ottoboni, M., Luciano, A., Rossi, L., Baldi, A., Pinotti, L. (2019b): Former food products have no detrimental effects on diet digestibility, growth performance and selected plasma variables in post-weaning piglets Italian. *Journal of Animal Science*, **18**: 987-996. doi.org/10.1080/1828051X.2019.1607784

Tretola, M., Luciano, A., Ottoboni, M., Baldi, A., Pinotti, L. (2019c): Influence of Traditional vs Alternative Dietary Carbohydrates Sources on the Large Intestinal Microbiota in Post-Weaning Piglets. *Animals*, **9**(8), 516; <https://doi.org/10.3390/ani9080516>

van Raamsdonk, L.W.D., Rijk, R., Schouten, G.P.J., Mennes, W., Meijer, G.A.L., Poel, A.F.B.V.D., De Jong, J. (2011): A risk evaluation of traces of packaging materials in former food products intended as feed materials. RIKILT Report - Wageningen, the Netherlands.

Insekten, Algen & Co – was ist dran?

M. Kreuzer, I.D.M. Gangnat, K. Giller, M. Heuel, M. Keller, R. Lugarà, E. Manzocchi, M. Terranova und C. Wolf

ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Zürich, Schweiz

Kontakt: Michael Kreuzer, michael.kreuzer@usys.ethz.ch

Einleitung

Futtermittelkunde ist eine Kerndisziplin der Tierernährungsforschung. Sie ist aktueller denn je, da immerzu neue potenzielle Futtermittel in die Diskussion oder gar auf den Markt kommen, ohne dass viel über sie bekannt ist. Manche scheinen sogar zur Lösung globaler Probleme beitragen zu können. Dabei wird Einigen ein grosses Potenzial nachgesagt, bevor sie überhaupt für die wichtigsten landwirtschaftlichen Nutztierarten als Futtermittel zugelassen sind. Ziel des vorliegenden Beitrags und von weiteren Beiträgen an der Tagung ist es, einige dieser speziellen Futtermittel vorzustellen und nach aktuellem Wissensstand hinsichtlich ihres tatsächlichen Nutzens zu beleuchten.

Insekten

Insekten können sowohl als Futtermittel als auch Lebensmittel ihren Einsatz finden. In der Schweiz sind aktuell Heuschrecken, Grillen und Mehlwürmer erlaubt, wobei die letzteren auch zu den Futtermittelinsekten zählen (siehe unten). Wenn sie als Lebensmittel eingesetzt würden, wären sie sogar selber «Nutztiere», sind aber anders als die Bienen zwar vom Bundesamt für Landwirtschaft aber nicht im Raumplanungsgesetz als Nutztiere anerkannt. Letzteres macht die Einrichtung einer bäuerlichen Insektenproduktion ausserordentlich kompliziert. Im vorliegenden Beitrag soll es um ihren Einsatz als Futtermittel gehen. Es gibt eine Reihe von Gründen, warum Insekten als eines der Futtermittel der Zukunft gesehen werden: sie sind reich an Protein, können auf Abfällen produziert werden, ihre Haltung benötigt wenig Land und es wird ihnen nachgesagt, dass bei ihrer Produktion wenig Treibhausgase emittiert werden. Ob Letzteres tatsächlich stimmt, ist allerdings zweifelhaft (Sandrock et al., 2019). In die Überlegungen muss auch einfließen, dass bei der bisherigen Verarbeitung der Insekten zum Futter- (und Lebens-)mittel eine Trocknung nötig ist, die in der Regel viel fossile Energie benötigt. Einen möglichen Ausweg aus diesem Dilemma hat kürzlich eine österreichische Arbeitsgruppe aufgezeigt, in dem sie frisch getöteten Insekten in Kombination mit Gerstenmehl eine gute Silierbarkeit bescheinigte (Kube et al., 2020), was eine Trocknung überflüssig macht. In der Schweiz sind

folgende sechs Insektenarten grundsätzlich als Futtermittel zugelassen (Der Schweizerische Bundesrat, 2018): die schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), der gelbe Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*), der glänzende Getreideschimmelkäfer (*Alphitobius diaperinus*), das Heimchen oder die Hausgrille (*Acheta domestica*), die Kurzflügelgrille oder südliche Hausgrille (*Grylloides sigillatus*) und die Steppengrille (*Gryllus assimilis*). Die Larven der schwarzen Soldatenfliege werden dabei von vielen Autor*innen als am vielversprechendsten für die Tierfutterproduktion angesehen.

Den oben genannten Vorteilen stehen allerdings eine ganze Reihe von zu lösenden Problemen gegenüber. Anders als auf anderen Kontinenten ist in der EU und damit auch in der Schweiz das Mehl einiger Insektenarten aufgrund der Einstufung als Tiermehl zur Verfütterung bisher nur für die Aquakultur zugelassen (Der Schweizerische Bundesrat, 2018). Allerdings wird seit längerem eine Zulassung durch die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) für Geflügel und ggf. Schwein erwartet, und bereits Insektenmehl produzierenden europäischen Firmen machen Druck. Dennoch ist die Zulassung auf Grund von noch nicht abschliessend geklärten Sicherheitsfragen bisher noch nicht erfolgt (EFSA, 2015). Nach Auskunft des Bundesamtes für Landwirtschaft wäre aber die Lebendverfütterung der Insekten gestattet. Diese Form der Fütterung wurde kürzlich auch bereits erforscht (Star et al., 2020). Ob man mit dem vorgestellten Dispenser sicherstellen könnte, dass sich im Trog keine toten Insekten befinden – eine Voraussetzung in der Schweiz, müsste sich zeigen.

Sollte eine Zulassung in der EU/der Schweiz erfolgen, werden wohl strenge Auflagen an die Substrate gestellt, also die Futtermittel, auf denen die Insekten vermehrt werden. So wird eine Aufzucht von zur Nutztierfütterung bestimmten Insekten auf Gastronomieabfällen oder anderweitig problematischen Abfällen nicht möglich sein. Momentan wird intensiv untersucht, ob die Insekten Rückstände wie Schimmelpilzgifte, Schwermetalle, Arzneimittel und Pflanzenschutzmittel im Körper akkumulieren, wenn diese in ihren Aufzuchtsubstraten vorkommen (z.B. Charlton et al., 2015; Diener et al., 2015; Ul Hassan and Ahmad, 2015; Lalander et al., 2016; Purschke et al., 2017; Wang et al. 2017). Schimmelpilzgifte können natürlich ebenso in zugelassenen Substraten enthalten sein, wenn diese nicht sachgemäss gelagert wurden. Zusätzlich könnten die Insekten auch mit ungünstigen Keimen kontaminiert sein. Was bleibt dann als Substrate für die Insekten noch übrig? Neben den üblichen Kraftfutterbestandteilen (Getreide, Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie) ist es auch der sogenannte «Pre-Consumer Waste», auch «Former Food Products» genannt, also alles was eigentlich als Lebensmittel hergestellt wurde war, aber aufgrund von Fabrikationsfehlern nie auf dem Teller gelandet ist. Derartige Futtermittel wurden von Pinotti et al. (2019) zusammengefasst (vgl. auch den ersten

Beitrag dieser Tagung). Da die genannten Arten von Futtermitteln auch an andere Nutztiere verfüttert werden können, muss die Insektenproduktion eine besondere Effizienz z.B. der Proteinerzeugung aus Material mit wenig Protein aufweisen. Ansonsten würde lediglich ein Produktionsweg etabliert, der einen doppelten Transformationsverlust beinhaltet, nämlich vom Substrat zum Insekt zum Lebensmittel beim Nutztier. Im Biolandbau kommt noch erschwerend hinzu, dass wohl auch die Substrate für die Insekten eindeutig biologischer Herkunft sein müssen.

Aber wie sieht es denn tatsächlich mit der Nährstofflieferung durch die Insekten aus? Ähnlich wie das Lignin in den Pflanzen enthalten die Insekten ein nicht gut verdauliches Polymer, das Chitin, denn das Enzym Chitinase ist nicht sehr aktiv im Verdauungstrakt landwirtschaftlicher Nutztiere (Rothstein, 2018). Dies ist auch ein Grund, warum der Fokus der Produktion fast ausschliesslich auf dem Larvenstadium der Insekten liegt, da diese zum Zeitpunkt der Weiterverarbeitung zum Futtermittel nur einen schwachen Chitinpanzer entwickelt haben. Wir haben ca. 7% Chitin in einem entfetteten Mehl aus den Larven der schwarzen Soldatenfliege gemessen (Heuel et al., 2021a), Präpuppen können schon bis zu 10% Chitin enthalten (Rothstein, 2018). Um den Chitingehalt gering zu halten, muss daher darauf geachtet werden, dass sich die Tiere vor der «Ernte» nicht bereits verpuppt haben. Zusätzlich bestehen die Larven der schwarzen Soldatenfliege bei weitem nicht nur aus Protein, sondern enthalten bis zu einem Drittel oder mehr Fett (z.B. Barragan-Fonseca et al., 2017). Dies wahrscheinlich deshalb, weil die geschlüpften Fliegen keine Mundwerkzeuge besitzen und sie daher von den im Larvenstadium angefressenen Reserven leben müssen. Das Fett der Larven wird heutzutage durch verschiedene Verfahren entfernt und bisher nicht als potenzielles Futtermittel angesehen. Es geht in industrielle Anwendungen, wie z.B. die Biodieselproduktion (Surendra et al., 2016). Allerdings verkörpert dieser Weg eine grosse Ineffizienz der Futterinsektenproduktion. Die Frage, die sich hierbei stellt, lautet: Würde sich das Fett der schwarzen Soldatenfliegenlarven überhaupt grundsätzlich als Futtermittel eignen? Das Fett der Larven ist nämlich sehr reich an Laurinsäure, was aus Sicht der Humangesundheit ungünstig ist.

Die Wissenschaft untersucht seit Längerem den Futterwert, vor allem den Proteinwert, von Insektenmehlen bei Fisch, Geflügel und Schwein. Von besonderem Interesse scheinen in diesem Zusammenhang die schwarze Soldatenfliegenlarve und der Mehlwurm zu sein. Dies zeigen die verschiedenen Beispiele für Forschung an der schwarzen Soldatenfliege bei Broilern (De Marco et al., 2015; Leiber et al., 2017; Schiavone et al. 2017), Legehennen (Maurer et al., 2016; Marono et al. 2017), Wachteln (Cullere et al., 2016) und der Forelle (Stadtlander et al., 2017; Dietz et al., 2020). Ergebnisse zum

Einsatz von Mehlwürmern wurden beim Broiler (Biasato et al., 2016; De Marco et al., 2015) und beim Schwein (Ringseis et al., 2020; Sünder et al., 2020) beschrieben. Zusätzlich gibt es mittlerweile eine Reihe von Übersichtsarbeiten (van Huis, 2013; Makkar et al., 2014; Sanchez-Muros et al., 2014; Veldkamp und Bosch, 2015; Barragan-Fonseca et al., 2017; Bracher, 2019), wobei hier Einiges bereits überholt sein könnte. Generell zeigte sich in den Studien, dass Soja im Futter dieser Tierarten zumindest teilweise durch Insektenproteinmehl ohne Leistungseinbußen ersetzt werden kann. Allerdings könnte die verwendete Insektenart eine entscheidende Rolle spielen. Schiavone et al. (2017) belegten als Erste, dass es möglich ist, Larvenfett in Broilerrationen einzusetzen, ohne dass es zu Einbußen in Wachstum, Schlachtkörper- und physikochemischer Fleischqualität kommt. Jedoch war das Fettsäurenprofil des intramuskulären Fettes in eine ungünstige Richtung verändert.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass die insektenbasierte Fütterung der Nutztiere mit der optimierten Fütterung der Insekten beginnen muss. Heute wird oft einfach angenommen, dass eine bestimmte Insektenart immer gleich zusammengesetzt ist. Aber es ist nicht nur die Substratverwertung durch die Insekten, die durch die Substratqualität zu beeinflussen ist. Auch die Zusammensetzung der Insekten an Nährstoffen kann je nach eingesetztem Substrat extrem variieren (Leupi, 2019; Gold et al., 2020a). Auch zwischen Genotypen derselben Insektenart gibt es klare Unterschiede in der Zusammensetzung (Leupi, 2019). Konkret lässt sich beispielsweise das Fettsäurenprofil durch ein entsprechendes Substrat etwas verbessern. So gelang es St-Hilaire et al. (2007), Soldatenfliegenlarven mit einem Fett zu erzeugen, das mit Omega-3-Fettsäuren angereichert war, indem das Substrat aus Fischabfällen bestand. Hier tut sich also ein grosses neues Forschungsfeld auf: die Bestimmung des Futterwerts einerseits und des Bedarfs der Insekten andererseits. Analogieschlüsse aus der Nutztierfütterung sind praktisch nicht möglich, und es braucht auch neue experimentelle Ansätze, so wie z.B. eine Methode, um die Substratverdaulichkeit bei Insekten messen zu können. Eine solche Methode wurde von uns entwickelt (Gold et al., 2020b). Eine Herausforderung ist dabei die winzige Ausscheidungsmenge und die saubere Trennung von Substrat und Ausscheidungen.

Eigene Ergebnisse zum Wert des Proteins der schwarzen Soldatenfliegenlarve

In den eigenen Studien mit Legehennen wurden Rationen, in welchen das gesamte Protein und das gesamte Öl durch Protein und Fett von zwei Herkünften (A und B) an Soldatenfliegenlarven ersetzt wurde mit einer Sojaration verglichen. Das entfettete Insektenmehl enthielt bei etwa gleichem Rohproteingehalt mehr Methionin und, in Herkunft A, auch mehr Lysin als der Sojakuchen (Tab. 1).

Die Futteraufnahme der Hennen war im Vergleich zur Sojakuchenration mit den Insektenrationen nicht beeinträchtigt (Tab. 2). Allerdings zeigte sich, wenn den Tieren die Wahl gelassen wurde, eine

Tabelle 1. Zusammensetzung des Sojakuchens und der entfetteten Larvenmehle (g/kg TS) (Heuel et al., 2021a)

	Sojakuchen	Larvenmehl ¹	
		A	B
Rohprotein	443	460	380
Rohfett	90	133	299
Chitin	0	74	70
Methionin	6	10	8
Methionin + Cystin	11	14	11
Lysin	26	32	24

¹Herkunft A: zugekauftes Produkt von InnovaFeed (Paris, Frankreich), Herkunft B: am FiBL hergestelltes Produkt

bessere Schmackhaftigkeit der Larvenherkunft A im Vergleich zu B. In unserem Versuch war die scheinbare Verdaulichkeit von Lysin und Cystein besonders bei den Larven der Herkunft B geringer als in der Sojaration (Tab. 2). Bei Herkunft A war der Unterschied zum Soja geringer. Das Methionin wurde gleich gut verdaut.

Tabelle 2. Ergebnisse von Legehennenversuch 1 (Heuel et al., 2021a)

Ration	Soja	Larvenherkunft	
		A	B
Futteraufnahme (g/Tag)	122	120	114
Versorgung (% des Bedarfs) ¹			
Rohprotein	-14	-19	-18
Methionin	-15	-10	-7
Methionin & Cystin	+1	-7	-7
Lysin	+16	+17	+12
Legeleistung (%)	98.6	98.8	96.5
Eigewicht (g)	65	67	63
Eimasse (g/Tag)	64	66	61
Scheinbare Verdaulichkeit (%)			
Methionin	84	86	84
Cystin	87	82	79
Lysin	85	84	81
Stickstoffverwertung (%)	35	34	37

¹Gemäss Lohmann Tierzucht AG für braune Hennen.

Auch die Proteinverwertung (gemessen als Stickstoffverwertung) war ähnlich mit allen Rationen. Frühere Studien gingen dagegen von einem deutlich schlechteren Wert des Insektenproteins aus.

De Marco et al. (2015) zeigte, dass das Mehl der Soldatenfliegenlarven beim Broiler in den (ileal) verdaulichen Aminosäuren im Vergleich zum Bedarf begrenzt ist. Auch das Mehlwurmprotein wies beim Schwein gegenüber Sojaprotein eine schlechtere präzäkale Verdaulichkeit auf (Ringseis et al., 2020). Der Ersatz von drei Viertel des Sojas im Futter durch Mehlwurmmehl erlaubte zwar ein unverändertes Ferkelwachstum in der Studie von Sünder et al. (2020), allerdings hatten die Versuchsdurchführenden Lysin, Threonin und Methionin im Futter ergänzt. In unseren Untersuchungen gab es dagegen bei den Legehennen keinerlei Leistungseinbußen (Tab. 2), selbst wenn die Proteinversorgung der Tiere in Versuch 2 rechnerisch noch weiter eingeschränkt wurde (Tab. 3).

Tabelle 3. Ergebnisse von Legehennenversuch 2 (–: reduziert im Protein) (unveröffentlicht)

Ration	Soja		Larvenherkunft	
	Protein+	Protein–	A–	B–
Futtermittelaufnahme (g/Tag)	121	119	120	115
Rohprotein (% des Bedarfs)	-18	-25	-28	-32
Legeleistung (%)	93.5	93.0	97.3	95.0
Eigewicht (g)	66	64	65	63
Eimasse (g/Tag)	62	59	64	60

Beim Broiler erwies sich der Proteinwert einer der beiden Larvenherkünfte (A) sogar als höher als der von Sojakuchen (Tab. 4). Weitere Studien müssen zeigen, wie hoch der Proteinwert wirklich ist und ob das Substrat der Larven und die Technologie der Verarbeitung zum Proteinmehl einen Einfluss haben.

Tabelle 4. Ergebnisse des Broilerversuchs (–: reduziert im Protein) (Heuel et al., 2021b)

Ration	Soja		Larvenherkunft	
	Protein+	Protein–	A–	B–
Futtermittelaufnahme (g/Tag)	72	64	76	61
Tageszuwachs (g)	27	20	28	20
Futter (g/g Zuwachs)	2.7	3.2	2.8	3.1

Eigene Ergebnisse zu den Einsatzmöglichkeiten des Fettes der schwarzen Soldatenfliegenlarve

Das Fett beider Larvenherkünfte zeichnete sich durch sehr hohe Anteile an den unerwünschten mittelkettigen Fettsäuren (Laurin- und Myristinsäure) aus, während das Sojaöl viele ungesättigte Fettsäuren enthielt (Tab. 5). Es gab gewisse Unterschiede zwischen den Larvenfettherkünften, die wohl auf eine unterschiedliche Substratzusammensetzung zurückzuführen waren. Erstaunlicherweise wurden nur 0.7% der mit dem Larvenfett aufgenommenen Laurinsäure und auch nur 30% der aufgenommenen Myristinsäure in die Dotterlipide überführt (Tab. 6). Auch wenn die Anteile der beiden

Fettsäuren im Dotterfett immer noch höher als bei der Sojaration waren und jene zu höheren

Tabelle 5. Anteile ausgewählter Fettsäuren (g/kg totale Fettsäuren) im Sojakuchen und den Larvenfetten (Heuel et al., 2021c)

	Sojaöl	Larvenfett	
		A	B
gesättigte Fettsäuren	161	665	707
Laurinsäure	0	421	397
Myristinsäure	1	84	92
Ölsäure	210	133	156
Linolsäure	526	146	77
α -Linolensäure	82	12	10

Anteilen an Linolsäure und α -Linolensäure im Dotterfett führten, wurden die mittellangkettigen Fettsäuren von den Legehennen offenbar vorrangig zur Energiegewinnung oder Kettenverlängerung herangezogen oder vielleicht auch schlechter verdaut. Dadurch war das Dotterfett nicht wesentlich in seinem Wert für die Humanernährung beeinträchtigt. Somit ist das Huhn in der Lage, das in diesem Aspekt eher ungesunde Insektenfett deutlich aufzuwerten. Wenn die Insekten dagegen direkt verzehrt würden, würde das ungesündere Fett auf dem menschlichen Teller landen. Erste unveröffentlichte eigene Ergebnisse beim Broiler zeigten, dass der Transfer der Laurin- und Myristinsäure vom Larvenfett ins Broilerfett etwas höher ist als derjenige ins Ei, so wie es schon die Resultate von Schiavone et al. (2017) erwarten liessen. Somit wäre der Einsatz des Larvenfettes bei der Legehenne zu bevorzugen. In jedem Fall stellt das Larvenfett sowohl für die Legehenne als auch für den Broiler eine wertvolle Energiequelle dar. Man könnte, falls die Konservierung z.B. mittels Silierung gelingt, die intakten Larven verfüttern und auf die Prozessschritte Entfetten und Trocknen verzichten und somit eine Verbesserung der Systemeffizienz erzielen.

Tabelle 6. Anteile ausgewählter Fettsäuren (mmol/mol totale Fettsäuren) im Eidotter (Heuel et al., 2021b)

Ration	Soja	Larvenherkunft	
		A	B
gesättigte Fettsäuren	339	389	385
Laurinsäure	0	4	4
Myristinsäure	3	29	30
Ölsäure	380	375	375
Linolsäure	200	128	126
α -Linolensäure	11	5	5

Algen

Neben den Insekten gibt es gegenwärtig einen Hype bei den Algen als Lebensmittel, die oftmals auch als «Super Food» bezeichnet werden. Zunehmend bestehen auch Überlegungen, Algen als Futtermittel für Nutztiere mit spezifischer Wirkung (Functional Feed) einzusetzen. Grundsätzliche Überlegungen zum Einsatz der Algen finden sich bei Wolf et al. (2017). Es gibt eine Vielzahl von Algenarten, wobei zwischen Makro- und Mikroalgen unterschieden wird. Je nach Algenart unterscheidet sich jedoch die Wirkungsweise im Tier, die teilweise bereits intensiv erforscht wurde. Wie bei der Vermehrung von Insekten ist auch bei der Algenproduktion die Ressource Land zweitrangig. Allerdings benötigen die meisten Algen viel Licht, oftmals auch aus einer künstlichen Quelle. Zur Haltbarmachung und Weiterverarbeitung müssen die Algen unter grossem Energieaufwand getrocknet werden. Zusammen bedeutet dies, dass auch die Algenproduktion den Einsatz von viel, häufig fossiler Energie nach sich zieht.

Rot-, Braun- und Grünalgen (Molina-Alcaide et al., 2017) zählen zu den Makroalgen, die manchmal auch als Seegrass bezeichnet werden. Schlagzeilen machte jüngst die methanhemmende Wirkung der Rotalge *Asparagopsis taxiformis*. Zuerst wiesen *in vitro*-Ergebnisse darauf hin, dass bereits eine Zulage von 2% zum Futter eine ausserordentlich starke Methansenkung bewirken kann (Machado et al. 2016). In den Medien (z.B. Anonymus, 2018) wird stark auf diese *in vitro* gefundene 99%ige Methansenkung Bezug genommen. Inzwischen gibt es eine Reihe von weiteren *in vitro*-Studien, die auf eine Methan senkende Wirkung von Seegrass hinweisen (neben Machado et al., 2016, exemplarisch Maia et al., 2016; Molina-Alcaide et al., 2017). Aber auch im Tier wurde mit *A. taxiformis* bei der Kuh und beim Schaf bis zu 55 und 80% Methanreduktion bei 0.5 und 3% Zulage erzielt (Li et al., 2018; Stefanoni et al., 2021). Die Wirkung scheint auf dem in dieser Rotalge enthaltenen bromierten Kohlenwasserstoff Bromoform zu beruhen, eine Verbindung, die übrigens selbst ein Treibhausgas ist (Hein, 2020). Wie andere halogenierte Verbindungen reagiert das Bromoform mit dem Vitamin B₁₂-Cofaktor, der für die Methanbildner im Pansen essentiell ist (Machado et al., 2016). Bromoform ist gesundheitlich bedenklich. Es wurde zusammen mit Bromid und Jod in der Milch von mit dieser Algenart gefütterten Kühen gefunden (Stefanoni et al., 2021). Man fand zwar geringe Mengen, aber diese Substanzen fanden sich auch dann noch in der Milch, wenn die Algenverfütterung abgesetzt wurde. Offen ist noch die Frage, ob die Wirkung gegen das Methan permanent ist oder nicht lange anhält, wenn sich die Methanbildner im Pansen an diesen Wirkstoff anpassen sollten (Stefanoni et al., 2021).

Unsere eigene Forschung hat sich auf verschiedene Mikroalgen konzentriert, dabei insbesondere auf das Cyanobakterium *Arthrospira platensis* (häufig als *Spirulina* bezeichnet). Einige erste Ergebnisse dieser Forschung, die in drei Doktorarbeiten erfolgte, sollen hier vorgestellt werden.

Eigene Ergebnisse zu den Wirkungen verschiedener Mikroalgen im Pansen

In einem ersten Forschungsansatz wurden drei kommerziell produzierte Mikroalgenarten untersucht, nämlich *Nannochloropsis gaditana*, *Phaeodactylum tricornutum* und *Schizochytrium* sp. Im Zentrum standen ihre Zusammensetzung, ihre Wirkung auf die Methanbildung (Kiani et al., 2020) sowie ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber der Biohydrogenierung der Fettsäuren im Pansen durch Mikroorganismen (unveröffentlicht). Letzteres ist von Bedeutung für die Abschätzung, ob es sich lohnt, bestimmte Algen zur Anreicherung von Omega-3-Fettsäuren in Milch und Fleisch der Wiederkäuer einzusetzen. Die drei Mikroalgenarten zeichneten sich durch besonders hohe Gehalte an jeweils einer anderen Omega-3-Fettsäure aus (Tab. 7). Die *N. gaditana* enthielt hohe Gehalte an α -Linolensäure (drei C=C-Doppelbindungen), *P. tricornutum* war reich an Eicosapentaensäure (fünf C=C-Doppelbindungen) und *Schizochytrium* zeigte besonders hohe Gehalte an Docosahexaensäure (sechs C=C-Doppelbindungen).

Tabelle 7. Lipidgehalt (g/kg Trockensubstanz (TS)) und Schlüsselfettsäuren (g/kg totale Fettsäuren) der drei untersuchten Mikroalgen (Kiani et al., 2020)

	<i>Nannochloropsis gaditana</i>	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	<i>Schizochy- trium</i> sp.
Rohfett	122	122	393
Totale Polyensäuren	587	489	547
Linolsäure	183	52	0
α -Linolensäure	267	34	3
Eicosapentaensäure	24	201	6
Docosahexaensäure	0	8	518

Wegen der hohen Gehalte an ungesättigten Fettsäuren wurde erwartet, dass die Methanemission bei ihrem Einsatz im Futter verringert sein sollte, falls diese nicht vollständig pansengeschützt sein sollten. Dies würde dann über die Hemmung der methanbildenden Archaea oder der Protozoen erfolgen, mit denen ein Teil der Archaeen assoziiert ist. Tatsächlich hatten die drei Algenarten *in vitro* aber überhaupt keine Methan senkende Wirkung gezeigt. Im Fall von *N. gaditana* ergab sich sogar eine leicht Methan fördernde Wirkung (Tab. 8). Pro Einheit Futter ging das Methan nur deshalb etwas zurück, weil die Algen praktisch nicht fermentiert wurden, also eine Art inerte Substanz bildeten.

Tabelle 8. Effekte der drei untersuchten Mikroalgen als Zulagen zum Futter auf die Methanemission *in vitro* (Kiani et al., 2020)

	Kontrolle	+ <i>Nannochloropsis</i> <i>gaditana</i>	+ <i>Phaeodactylum</i> <i>tricornutum</i>	+ <i>Schizochytrium</i> sp.
Algen (g/kg Futter-TS)	–	161	158	64
Methan ml/Tag	7.0 ¹⁾	7.5	6.9	6.9
l/kg Futter-TS	34	31	29	32
ml pro l CO ₂	171	174	168	170

Unerwarteterweise fanden wir aber gleichzeitig, dass das Algenmaterial doch mit den Mikroben reagiert, indem ungesättigte Fettsäuren von den Algen durch die *in vitro*-Inkubation im Pansensaft intensiv biohydrogeniert wurden (Tab. 9) und sich das Fettsäurenprofil damit änderte. Dabei wurden sogar mehr der ungesättigten Fettsäuren in den Algen biohydrogeniert als im nicht pansengeschützten Fischöl, das als Kontrolle diente. Ein effizienter Transfer von Omega-3-Fettsäuren vom Futter in die Milch und das Fleisch scheint somit nicht möglich. Einschränkend muss gesagt werden, dass es schwierig war, das Fischöl gut im Pansensaft zu verteilen, so dass hier die reale Biohydrogenierung im Pansen höher sein könnte. Zusammenfassend muss also erst noch aufgezeigt werden, ob die drei untersuchten Mikroalgen in anderer Sicht doch einen gewissen Futterwert haben.

Tabelle 9. Grad der Biohydrogenierung (%) von ausgewählten ungesättigten Fettsäuren durch *in vitro*-Inkubation der drei Mikroalgen im Pansensaft im Vergleich zu Fischöl (unveröffentlicht)

	<i>Nannochloropsis</i> <i>gaditana</i>	<i>Phaeodactylum</i> <i>tricornutum</i>	<i>Schizochytrium</i> sp.	Fischöl
α -Linolensäure	87	84	83	86
Eicosapentaensäure	79	86	39	2
Docosahexaensäure	–	80	32	(0)
Σ Omega-3-Fettsäuren	84	82	55	19
Σ Polyensäuren	74	76	55	28

Eigene Ergebnisse zu den Wirkungen von Spirulina beim Mastmuni

In einem umfangreichen Experiment mit Mastmuni, welche eine Ration vorwiegend auf Basis von Grassilage erhielten, wurde das komplette Sojaschrot durch Spirulina ersetzt. Eine weitere Muni-gruppe erhielt gar keine Eiweissergänzung. Es zeigte sich, dass beim Einsatz einer Futtermischung, die mehr auf einem Material vom Grasland basiert war, als es in der Maissilagemast üblich ist, überhaupt keine Eiweissergänzung notwendig war, um eine unveränderte Mastleistung sicherzustellen (Tab. 10). Somit konnte auch nicht geklärt werden, ob das Spirulinaprotein gleich- oder höherwertig ist als Sojaprotein, welches als Sojaextraktionsschrot verabreicht worden war.

Tabelle 10: Futteraufnahme, Tageszuwachs und Futterverwertung von Mastmuni mit Ergänzung von Spirulina oder Sojaschrot (Keller et al., 2021)

	ohne Er- gänzung	mit So- jaschrot	mit Spi- rulina
TS-Aufnahme (kg/Tag)			
Gesamt	7.0	6.8	7.0
Silage	5.6	5.4	5.6
Kraftfutter	1.4	1.4	1.4
Tageszuwachs (kg)	1.41	1.45	1.40
Futterverwertung (kg TS/kg Zuwachs)	5.0	4.7	4.9

Eigene Ergebnisse zu den Wirkungen von Spirulina auf die Milchqualität von Kühen

Bei Milchvieh ersetzten wir das gesamte Sojaschrot in einer auf Heu basierten Ration (6%) durch 5% Spirulina (Manzocchi et al., 2020). Dies beeinflusste die Milchleistung und die Futterverwertung nicht, wohingegen der β -Carotin-Gehalt der Milch anstieg, was auch die intensivere Gelbfärbung der Milch erklärt (Tab. 11). Spirulina gehört nicht zu den Algen, die besonders reich an Omega-3-Fettsäuren sind, aber sie ist reich an einer seltenen, für die Humangesundheit wohl vorteilhaften Fettsäure, der γ -Linolensäure. Der Gehalt des Milchlippes an dieser Fettsäure war mit Spirulina entsprechend höher. In der sensorischen Auswertung der homogenisierten und pasteurisierten Milch gelang es den Testpersonen nicht, die abweichende Milchprobe aus drei Proben, von denen zwei gleich waren (Dreieckstest), klar herauszufinden. Dies zeigt, dass selbst eine intensive Spirulinafütterung wohl zu keinen Geruchs- und Geschmacksabweichungen in der Konsummilch führt.

Tabelle 11. Wirkung von Spirulina auf ausgewählte Variablen bei Milchkühen (Manzocchi et al., 2020)

Ration	Sojaschrot	Spirulina
energiekorrt. Milchleistung (kg/Tag)	19.0	20.3
Futterverwertung (kg TS/kg Milch)	1.11	1.16
β -Carotin in der Milch ($\mu\text{g/l}$)	135	207
Gelbfärbung der Milch (b^* -Wert)	13.8	14.9
γ -Linolensäure (g/kg totale Fettsäuren)	0.38	0.57

Eigene Ergebnisse zu den Wirkungen von Spirulina in Muttersauen und ihren Ferkeln

In einem umfangreichen Versuch mit Schweinen als Modell für die Humanernährung wurde die Wirkung einer Spirulina-Supplementierung auf Muttersauen und ihre Ferkel untersucht (Lugarà et al., 2021). Spirulina wurde dabei in einer Menge von 20 g/Tag einer «gesunden» Kontrollration und einer fett- und zuckerreichen Ration («Western Diet») zugelegt. Unabhängig von der Ration zeigten sich bei den Sauen nur geringe Wirkungen der Spirulina-Supplementierung auf Leistungs-, Fruchtbarkeits- und Blutparameter. Im Blut der neugeborenen Ferkel der mit Spirulina supplementierten Sauen

war jedoch die Konzentration an Triglyceriden in der Tendenz verringert und dies unabhängig von der Ration. Während der vierwöchigen Säugeperiode wuchsen die Ferkel von Spirulina supplementierten Kontrollfuttersauen langsamer als die der Kontrollfuttersauen, die keine Spirulina erhielten. Dies könnte beim Menschen in Hinblick auf die spätere Entwicklung von Übergewicht interessant sein. Genexpressionsanalysen in der Leber der Sauen deuten auf eine Spirulina-abhängige Regulation von Signalwegen hin, die in Entzündungsprozesse und die antioxidative Abwehr involviert sind (Lugarà et al., unveröffentlicht). Diese Effekte scheinen z.T. auch abhängig von der Ration zu sein und werden aktuell detaillierter untersucht.

... & Co

Was gibt es sonst noch am Horizont der künftigen Futtermittel? Ein Beispiel für ein neues Futtermittel sind Wasserlinsen, welche im Beitrag von Gangnat (2021) charakterisiert werden. Überlegungen, die dem Klimawandel Rechnung tragen, führen zu neuen Futtermitteln wie der neuerdings diskutierten trockenheitsresistente Körnerpflanzengattung Kernza (*Thinopyrum intermedium*), auch Zwischen Quecke genannt. Diese Pflanze konnte erfolgreich mit Mastrindern beweidet werden (Favre et al., 2019). Auch die weltweit steigende Produktion von Hanf (*Cannabis sativa*) für die Gewinnung von Wirkstoffen (Cannabinoiden) eröffnet eine Tür für die Tierernährung. Nach der Extraktion der Wirkstoffe entsteht Material, das zurzeit als Grünabfall entsorgt wird, obwohl es von Lebensmittelqualität ist und viel Protein (18% Rohprotein in der unveröffentlichten Studie von Gangnat et al., unveröffentlicht) und Energie enthält. Akzeptanz und Futterwert dieses Pflanzenmaterials im Tier sind jedoch noch weitgehend unerforscht. Erste Ergebnisse mit Legehennen von Gangnat et al. (unveröffentlicht) zeigten eine unbeeinflusste Futteraufnahme mit bis zu 15% Hanfrückständen im Futter und es ergab sich kein Einfluss auf die Legeleistung im Vergleich zu Luzerne oder einem nicht supplementierten kommerziellen Futter. Auch die Umsetzbarkeit von Protein und Energie war gleich wie in der Luzernerzeugung. Nur die Dotter zeigten eine intensivere Rotfärbung als diejenigen, die mit dem kommerziellen Futter erzeugt wurden. Dennoch gibt es hier noch rechtliche Fragen hinsichtlich möglicher Cannabinoidrückstände in den Lebensmitteln (hier: Ei) zu klären, die entscheidend für die Zulassung als Futter bei lebensmittelproduzierenden Tieren sein werden.

Wenig bekannt ist, dass mit dem stark gewachsenen Onlinehandel die Nachfrage und der Abfall an Papier und Karton sehr stark gestiegen sind. Das Recycling von Verpackungsmaterialien benötigt Stärke als Füllmaterial, was wiederum zu einem deutlich höheren Angebot an Maiskleber und Maiskleberfutter sowie Kartoffelpülpe geführt hat (Gerlach und Hummel, 2020). Inwieweit dabei auch

GVO-freie Ware, wie sie für die Schweiz erforderlich ist, verfügbar ist, müsste geprüft werden. Nach Gerlach und Hummel (2020) gibt es global zusätzlich ein stark wachsendes Angebot an Mandelnebenprodukte, da sich die Mandelproduktion seit 2000 verdoppelt hat. Die Hüllen machen 4-8% der Mandelmasse aus. Die Schalen werden als Einstreumaterial verwendet oder so verarbeitet, dass als Futtermittel eingesetzt werden können. Zudem gibt es einhergehend mit der Änderung der Essgewohnheiten deutlich mehr Frucht- und Gemüseabfälle und einen entsprechend erhöhten Anfall an Nebenprodukten aus der Lebensmittelherstellung, die ausserordentlich hochwertige potenzielle Futtermittel bilden könnten. Wegen der steigenden Nachfrage nach laktosefreien Milchprodukten fallen neuerdings grosse Mengen an Laktose an, die nach Gerlach (mündliche Mitteilung) ähnlich wie die Molke (Marti und Bisig, 2011) zur Gewinnung von Biogas herangezogen werden – ein wenig verantwortungsvoller Umgang mit wertvollen Energieträgern. Im Zusammenhang mit Nahrungsmittelverschwendung kommt es zudem zu grossen Mengen nicht verkaufter Produkte, wie z.B. von Bäckereiabfällen. Hier liegt die Schwierigkeit darin, dass diese Ware, um als Futtermittel einsetzbar zu sein, frei von Verpackungsresten sein muss. Der Aufwand, um das sicherzustellen, ist für viele Entsorgungsunternehmen zu gross. Es müsste geklärt werden, ob man Ware mit Verpackungsresten wenigstens an Insekten verfüttern könnte, so dass diese grosse Ressource nicht verloren geht. Letztlich gibt es auch Überlegungen, bestimmte Futtermittel in kleinen Betrieben einzusetzen. So ein naturnahes, aber nicht einfach umzusetzendes Futtermittel für Geflügel wären (lebendige) Regenwürmer. Das et al. (2020) konnten nämlich zeigen, dass die zusätzliche Gabe von Regenwürmern keine Leistungseinbussen von Broilern zur Folge hätte.

Manche Futtermittel, die eigentlich schon seit Langem bekannt sind, aber bisher nur in sehr geringen Mengen anfielen, sind auch Nebenprodukte von neuen Industrieverfahren. So gibt es seit einiger Zeit auf einmal grosse Mengen an Trockenschlempen aus der Bioethanolherstellung. Schlussendlich gibt es auch klassische Nebenprodukte der Lebensmittelherstellung, die neuerdings, zumindest in Europa, deutlich weniger nachgefragt werden als noch vor einigen Jahren. Ein Beispiel dafür sind Mühlenachprodukte wie Kleie, die es den Landwirten wegen ihres hohen Gehaltes an Phytin-gebundenem Phosphor schwerer machen, die Phosphorbilanz des Betriebes ausgeglichen zu gestalten (Gerlach und Hummel, 2020). Auch Zitrustrester wird seit einiger Zeit deutlich weniger eingesetzt als früher.

Schlussfolgerungen

Der vorliegende Beitrag hat gezeigt, dass es eine ganze Reihe von potenziellen Futtermitteln gibt, die bereits von grossem Interesse sind oder es künftig, vor allem aus der Sicht einer umweltfreundlichen Futtermittelerzeugung, werden könnten. Aktuell ist der Preis meist noch zu hoch. Dieser könnte sich allerdings bei hohen Produktionsmengen noch deutlich verringern. Zusätzlich steht in vielen Fällen die Zulassung für bestimmte Tierarten noch aus. Dass diese Futtermittel dennoch bereits jetzt intensiv erforscht werden, ist eine wichtige Aufgabe der Tierernährungsforschung. Diese muss die Grundlagen für den Einsatz neuer Futtermittel zu schaffen, um den Grundstein für die schnelle Verwendung in der Praxis zu legen. Diese Strategie ist selbst dann sinnvoll, wenn es manche Futtermittel schlussendlich nicht bis zum grossflächigen Einsatz «schaffen» sollten. Es wird interessant sein, zu sehen, wie sich der künftige Futtermittelmarkt entwickelt, und wir hoffen, dass dieser Beitrag einen Anstoss für neue Überlegungen gegeben hat.

Unser grosser Dank geht an Carmen Kunz, Muna Mergani, Nico Perez, an das gesamte Team von AgroVet-Strickhof und den Betrieb Strickhof für die Unterstützung der vielen Forschungsarbeiten, die in diesem Beitrag vorgestellt wurden, unseren Partnern in der Forschung mit Insekten und Algen und besonders an Tiziana Lanzini für die langjährige exzellente Organisation der Frühjahrstagung.

Literatur

- Anonymus (2018): Feeding cows seaweed cuts 99% of greenhouse gas emissions from their burps, research finds (Interview mit Ermias Kebreab, UC Davis, USA). https://www.independent.co.uk/environment/cows-seaweed-methane-burps-cut-greenhouse-gas-emissionsclimate-change-research-a8368911.html?amp&__twitter_impression=true
- Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M. and van Loon, J.J.A. (2017): Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *J. Insects Food Feed* **3**: 105-120
- Biasato, I., De Marco, M., Rotolo, L., Renna, M., Dabbou, S., Capucchio, M.T., Biasibetti, E., Tarantola, M., Costa, P., Gai, F., Pozzo, L., Dezzutto, D., Bergagna, S., Martinez, S. Tarantola, M., Gasco, L. and Schiavone, A. (2016): Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **100**: 1104-1112
- Bracher, A. (2019): Insekten als alternative Proteinquelle zu importierten Eiweissträgern. *Agrarforschung Schweiz* **10**: 360-371
- Charlton, A.J., Dickinson, M., Wakefield, M.E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., Zhu, F., Kone, N., Grant, M., Devic, E., Bruggeman, G., Prior, R. and Smith, R. (2015): Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *J. Insects Food Feed* **1**: 7-16
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S. and Dalle Zotte, A. (2016): Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal* **10**: 1923-1930

- Das, G., Seyedalmossavi, M.S.M., Li, Z., Troescher, A. and Metges, C.C. (2020): Effect of earthworm or vermicompost feeding in early life on growth performance and faecal consistency of broiler chicks. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 30
- De Marco, M., Martinez, S., Hernandez, F., Madrid, F., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. and Schiavone, A. (2015): Nutritional value of two insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Anim. Feed Sci. Technol.* **209**: 211-218
- Der Schweizerische Bundesrat (2018): Verordnung über tierische Nebenprodukte (VTNP; 916.441.22) vom 25. Mai 2011 (Stand am 1. Juni 2018). <https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2011/372/20180601/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2011-372-20180601-de-pdf-a.pdf>
- Diener, S., Zurbrügg, C. and Tockner, K. (2015): Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *J. Insects Food Feed* **1**: 261-270
- Dietz, C., Sünder, A. and Liebert, F. (2020): Does genetic background of rainbow trout impact on growth and feed utilization following fishmeal substitution by partly defatted insect meal (*Hermetia illucens*) or microalgae powder (*Arthrospira platensis*)? *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 38
- EFSA (European Food Safety Association) (2015): Scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* **13**: 4257, 60 S.
- Favre, R., Munoz Castiblanco, T., Combs, D.K., Wattiaux, M.A. and Picasso, V.D. (2019): Forage nutritive value and predicted fiber digestibility of Kernza intermediate wheatgrass in monoculture and in mixture with red clover during the first production year. *Anim. Feed Sci. Technol.* **258**: 114298.
- Gangnat, I.D.M. (2021): Wasserlinsen: Pflanzen mit Potenzial. In: Futtermittel mit Mehrwert für Tier und Mensch (Kreuzer, M., Lanzini, T., Liesegang, A., Bruckmaier, R., Hess, H.D. und Ulbrich, S.E., Hrsg.). *Vorliegender Tagungsband*, S. 39-50
- Gerlach, K. and Hummel, J. (2020): Use of by-products in ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 158-161
- Gold, M., Cassar, C.M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S. and Mathys, A. (2020a): Biowaste treatment with black soldier fly larvae: increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Manage.* **102**: 319-329
- Gold, M., Binggeli, M., Kurt, F., de Wouters, T., Reichlin, M., Zurbrügg, C., Mathys, A. and Kreuzer, M. (2020b): Novel experimental methods for the investigation of *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *J. Insect Sci.* **20**: 21, doi:10.1093/jisesa/ieaa057
- Hein, T. (2020): Wunderalgen mit Nebenwirkungen. *Tierwelt H.* 7, 13.2.2020, S. 16-17
- Heuel, M., Sandrock, C., F. Leiber, Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., Gangnat, I.D.M., Kreuzer, M. and Terranova, M. (2021a): Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. *Poult. Sci.* **100**: 101034
- Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., Gangnat, I.D.M., Kreuzer, M. and Terranova, M. (2021b): Beeinflusst der Ersatz von Sojakomponenten durch Larvenmehl und -fett der *Hermetia illucens* die Leistung von Bio-Broilern? *Vorliegender Tagungsband*, S. 133-136
- Heuel, M., Kreuzer, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., Gangnat, I.D.M. and Terranova, M. (2021c): Transfer of lauric and myristic acid from black soldier fly larval lipids to egg yolk lipids of hens is low. *Lipids*, doi:10.1002/lipd.12304, im Druck

Keller, M., Reidy, B., Scheurer, A., Eggerschwiler, L., Morel, I and Giller, K. (2021): Soybean meal can be replaced by faba bean, pumpkin seed cake, spirulina or be completely omitted in a forage-based diet of fattening bulls to achieve comparable performance, carcass and meat quality. *Animals*. in Revision

Kiani, A., Wolf, C., Giller, K., Eggerschwiler, L., Kreuzer, M. and Schwarm, A. (2020): *In vitro* ruminal fermentation and methane inhibitory effect of three species of microalgae. *Can. J. Anim. Sci.* **100**: 485-493

Kube, K., Resch, R. and Gierus, M. (2020): Suitability of ensiling as preservation method for insect larvae of *Hermetia illucens*. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 44

Lalander, C., Senecal, J., Gros Calvo, M., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K. and Vinneras, B. (2016): Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. *Sci. Total Environm.* **565**: 279-286

Leupi, S. (2019): *Genotype × environment interactions in Black Soldier Fly (Hermetia illucens) larvae grown on different organic waste materials*. Masterarbeit ETH Zurich

Leiber, F., Gelencsér, T., Stamer, A., Amsler, Z., Wohlfahrt, J., Früh, B. and Maurer, V. (2017): Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: effects on growth performance and physical meat quality. *Renew. Agric. Food Syst.* **32**: 21-27

Li, S., Norman, H.C., Kinley, R.D., Laurence, M., Wilmot, M., Bender, H., de Nys, R. and Tomkins, N. (2018): *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. *Anim. Prod. Sci.* **58**: 681-688

Lugarà, R., Kreuzer, M. and Giller, K. (2021): Does a high-energy diet with or without Spirulina supplementation affect body weight and blood markers of pregnant sows and their piglets? *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **30**: 80

Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., Kinley, R., de Nys, R. and Tomkins, N. (2016): Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium sp.* on *in vitro* fermentation and methane production. *J. Appl. Phycol.* **28**: 1443-1452

Maia, M.R.G., Fonseca, A.J.M., Oliveira, H. M., Mendonça, C. and Cabrita, A.J.R. (2016): The potential role of seaweeds in the natural manipulation of rumen fermentation and methane production. *Sci. Rep.* **6**: 32321, doi:10.1038/srep32321

Makkar, H.P.S., Tran, G., Heze, V. and Ankers, P. (2014): State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* **197**: 1-33.

Manzocchi, E., Guggenbühl, B., Kreuzer, M. and Giller, K. (2020): Effects of the substitution of soybean meal by spirulina in a hay-based diet for dairy cows on milk composition and sensory perception. *J. Dairy Sci.* **103**: 11349-11362.

Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M.E., Russo, F., Gasco, L., Parisi, G., Piccolo, G., Nizza, S., Di Meo, C., Attia, Y.A. and Bovera, F. (2017): Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poult. Sci.* **96**: 1783-1790

Marti, U., Bisig, W. (2011): Aus Molke rentabel Biogas produzieren. *Alimenta H.* **15**, 23-24

Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Wohlfahrt, J., Stamer, A. and Leiber, F. (2016): Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *J. Insects Food Feed* **2**: 83-90

- Molina-Alcaide, E., Carro, M.D., Roleda, M.Y., Weisbjerg, M.R., Lind, V. and Novoa-Garrido, M. (2017): *In vitro* ruminal fermentation and methane production of different seaweed species. *Anim. Feed Sci. Technol.* **228**: 1-12
- Pinotti, L., Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M. and Marchis, D. (2019): Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal* **13**: 1365-1375
- Purschke, B., Scheibelberger, R., Axmann, S., Adler, A. and Jäger, H. (2017): Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on growth performance and composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for use in the feed and food value chain. *Food Additives Contaminants* **A34**: 1410-1420
- Ringseis, R., Meyer, S., Braune, M., Friedhoff, T., Most, E., Liebisch, G., Zorn, H., Gessner, D. and Eder, K. (2020): The effect of insect meal from *Tenebrio molitor* L. on the metabolism of growing pigs. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 28
- Rothstein, S. (2018): Ernährungsphysiologische Bewertung von teilentfettetem Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) für den Einsatz in ressourcenschonenden Ernährungskonzepten der Schweine- und Hähnchenmast. Doktorarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland, [https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/21.11130/00-1735-0000-0005-128F-6/Dissertation Susanne Rothstein.pdf?sequence=1](https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/21.11130/00-1735-0000-0005-128F-6/Dissertation%20Susanne%20Rothstein.pdf?sequence=1)
- Sanchez-Muros, M.J., Barroso, F.G. and Manzano-Agugliano, F. (2014): Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J. Cleaner Prod.* **65**: 16-27
- Sandrock, C., Walter, C., Wohlfahrt, J., Krauss, M., Amelchanka, S.L., Berard, J., Leiber, F. and Kreuzer, M. (2019): Effects of feeding substrate on greenhouse gas emissions during black soldier fly larval development. In: *Book of Abstracts 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science* **25**: 156
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L. and Dalle Zotte, A. (2017): Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effects on growth performances, feed choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* **16**: 93-100
- Stadtlander, T., Stamer, A., Buser, A., Wohlfahrt, J., Leiber, F. and Sandrock, C. (2017): *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *J. Insects Food Feed* **3**: 165-175
- Stefenoni, H.A., Räisänen, S.E., Cueva, S.F., Wasson, D.E., Lage, C.F.A., Melgar, A., Fetter, M.E., Smith, P., Hennessy, M., Vecchiarelli, B., Bender, J., Pitta, D., Cantrell, C.L. Yarish, C. and Hristov A.N. (2021): Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **104**: 4157-4173
- Star, L., Arsiwalla, T., Molist, F., Leushuis, R., Dalim, M. and Paul, A. (2020): Gradual provision of live black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae to older laying hens: Effect on production performance, egg quality, feather condition and behavior. *Animals* **10**:216, doi:10.3390/ani10020216
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. and Irving, S. (2007): Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquacult. Soc.* **38**: 309-313
- Sünder, A., Brede, A., Wecke, C. and Liebert, F. (2020): *Tenebrio molitor* press cake as alternative protein source for piglets. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 34
- Surendra K.C., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R. and Khanal, S.K. (2016): Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renew. Energy* **98**: 197-202

- Ul Hassan, Z. and Ahmad, S. (2015): 21. Transfer of mycotoxin residues in hen's egg, their interaction and mechanism. In: *Handbook of Eggs in Human Function* (Watson, R.R., DeMeester, F., eds.). Book Series: Human Health Handbooks. Issue 9, pp. 367-386
- van Huis, A. (2013): Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu. Rev. Entomol.* **58**: 563-583
- Veldkamp, T. and Bosch, G. (2015): Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Anim. Front.* **5**: 45-50
- Wang, W., Zhang, W., Wang, X., Lei, C., Tang, R., Zhang, F., Yang, O. and Zhu, F. (2017): Tracing heavy metals in 'swine manure – maggot – chicken' production chain. *Sci. Rep.* **7**: article 8417. doi:10.1038/s41598-017-07317-2
- Wolf, C., Ulbrich, S.E., Kreuzer, M., Berard, J. und Giller, K. (2017): Algen – «Superfeed» für unsere Kühe? Ein- und Ausblicke in die Erforschung wertvoller Zusatzstoffe. In: *Klimawandel und Nutztiere: eine wechselseitige Beeinflussung* (Kreuzer, M., Lanzini, T., Liesegang, A., Bruckmaier, R., Hess, H.D. und Ulbrich, S.E., Hrsg.). ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung, Bd. **40**: 149-152.

Le potentiel des lentilles d'eau

I.D.M. Gangnat

ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Zürich, Schweiz

Une part de cette revue de littérature a été conduite sous l'affiliation, Université de Zurich, Nutrition Animale, Winterthurerstrasse 270, 8057 Zurich, Suisse

Contact: Isabelle Gangnat, isabelle.gangnat@gmail.com

Résumé

La demande croissante pour les protéines animales augmente parallèlement la demande pour les protéines végétales pour nourrir ces animaux. Bien que le soja soit une source de protéines de qualité, des inquiétudes multiples motivent la recherche d'alternatives au soja. Les lentilles d'eau se multiplient naturellement sur l'eau douce dans la plupart des régions du Monde, avec des rendements jusqu'à 60 fois supérieurs à ceux du soja et un taux protéique de 20 à 30% de la matière sèche. Cependant, cette plante n'a pas reçu toute l'attention qu'elle mérite en nutrition animale jusqu'à aujourd'hui. Les quelques études conduites sur la performance des animaux nourris avec des lentilles d'eau ont rapporté des résultats contradictoires. Une opportunité très intéressante serait de réutiliser le lisier de la ferme pour cultiver des lentilles d'eau. Cependant, ceci pourrait amener à la contamination des lentilles d'eau par des pathogènes ou des métaux lourds présents dans le lisier. Un autre défi est la teneur très importante en eau de la plante, rendant le transport et la conservation très difficile. Ce problème pourrait être résolu par un procédé de transformation des lentilles d'eau fraîches, ce qui pourrait aussi améliorer leur digestibilité. Des recherches sont nécessaires sur ces aspects.

Que sont les lentilles d'eau ?

Ce sont des macrophytes qui se multiplient sur l'eau douce stagnante (étangs, fossés) dans la plupart des régions du Monde. Dans la classification, les lentilles d'eau forment la famille des Lemnaceae avec un total de 38 espèces identifiées en cinq genres (Les et al., 2002). Il y a quelques décennies, l'ETH Zurich a largement contribué à la recherche sur les lentilles d'eau grâce au travail de Elias Landolt, Professeur de l'ETH en géobotanique (1964-1993) qui dédia une large partie de sa carrière à cette plante. Aujourd'hui, la Landolt Duckweed Collection à Zurich subventionne régulièrement des projets sur la lentille d'eau.

Méthodes de production

Des rendements en matière sèche (MS) jusqu'à 180 tonnes/ha/an ont été rapportés, mais plus raisonnablement une moyenne 10 tonnes/ha/an peuvent être attendues en conditions pratiques (Leng, 1999; Chakrabarti et al., 2018). En comparaison, le rendement du soja est de 3 tonnes/ha/an. La croissance des lentilles d'eau est indépendante de la qualité du sol puisqu'elles poussent sur l'eau. Ceci est particulièrement intéressant pour les régions dépourvues d'un sol arable. Les lentilles d'eau peuvent être cultivées en culture axénique avec des fertilisants synthétiques, ce qui permet de contrôler la contamination par les pathogènes et la présence de substances non désirables. Une autre possibilité est d'utiliser du lisier dilué. Le recyclage du lisier de la ferme a de nombreux avantages. Tout d'abord, l'utilisation des nutriments du lisier par les lentilles d'eau avant épandage permet de réduire la pression environnementale dans les régions fortement peuplées par les animaux de fermes où la production de lisier dépasse éventuellement la capacité d'assimilation du sol avec des conséquences négatives pour l'écosystème environnant (Burkholder et al., 2007). Deuxièmement, dans les régions reculées où le transport d'alimentation animale est difficile, la production locale de protéines serait intéressante. À cause de la grande quantité d'eau contenue dans les lentilles d'eau (92-94% ; Appenroth et al., 2017), le transport en frais ou le séchage mécanique des lentilles d'eau avant transport serait coûteux. En plus des nutriments, le lisier peut aussi contenir des contaminants tels que des pathogènes, des métaux lourds et des résidus d'antibiotiques. Un contrôle efficace des pathogènes est important pour la santé humaine et animale mais aussi pour la croissance des lentilles d'eau (Zhang et al., 2010). La fermentation anaérobie du lisier avant utilisation est une méthode prometteuse pour réduire drastiquement la plupart des pathogènes présents dans le lisier (Scheinman et al., 2015). Cependant, la croissance des pathogènes résiduels en parallèle de la croissance des lentilles d'eau et l'accumulation des pathogènes sur les plantes qui en découlerait est une menace à considérer. La contamination par les métaux lourds et les antibiotiques sera diluée par la dilution nécessaire du lisier dans l'eau pour la culture des lentilles d'eau. Cependant, les lentilles d'eau ont la capacité d'accumuler les substances présentes dans le milieu, un phénomène connu sous le nom de bioaccumulation. Si la bioaccumulation des antibiotiques dans les lentilles d'eau ne paraît pas problématique en soi (Boonsaner et Hawker, 2013 ; Massé et al., 2014), c'est la sélection de résistances chez les bactéries par la faible concentration des antibiotiques dans le milieu (Venglovsky et al., 2009) et l'accumulation de ces bactéries résistantes sur les lentilles d'eau qui est plus dangereuse.

Plusieurs projets récents ont étudié la faisabilité de la réutilisation du lisier pour cultiver des lentilles d'eau. Aux Pays Bas, une ferme pilote avec un atelier de veaux d'engraissement, un bassin de culture de lentilles d'eau (*Lemna minor* et *Spirodela* sp.) et un réacteur de biogaz a testé ce système (Kroes

et al., 2016). La fraction liquide du lisier a été pompée avec de l'eau dans un large bassin (4400 m²) placé sur le toit de l'atelier d'engraissement rassemblant 1600 veaux. Les lentilles d'eau poussaient dans ce bassin couvert d'un toit en verre. La lumière et la chaleur était apportées comme dans une serre, avec en plus la chaleur dispersée par les veaux située en dessous. En 2015, 14 tonnes de lentilles d'eau fraîches (correspondant à 11,5 tonnes MS/ha) ont été récoltées dans ce système et distribuées fraîches aux veaux. Entre octobre et avril, la croissance des lentilles d'eau fut presque nulle car la lumière et la chaleur étaient insuffisantes. Les résultats de l'analyse de risques sont présentés dans le Tableau 1. Il est à noter que le risque concernant les virus dépendra de l'arrivée de nouveaux animaux sur la ferme. Dans les conditions de cette ferme pilote, la distribution de lentilles d'eau n'a posé aucun problème de contamination.

Tableau 1. Analyse des risques de la distribution de lentilles d'eau cultivées sur le lisier de la ferme à des veaux d'engraissement aux Pays Bas (Kroes et al., 2016)

Risque	Conclusion des auteurs
Prions et ESB	Il est assumé qu'aucun risque n'est présent car aucun cas n'a été rapport ces dernières années aux Pays Bas et l'ESB ne concerne que les animaux plus âgés
Virus	Tant que le lisier vient de la ferme, the risque à une faible priorité
Hormones	Pas de risque car aucune hormone n'est utilisée sur la ferme
Dioxines	Risque potentiel dû à l'utilisation d'additifs
Algues bleues	Elles ne devraient pas croître tant que l'eau reste en mouvement dans le bassin
Médicaments vétérinaires	Risque bas dans le scénario présent avec un usage normal de médecines vétérinaires
Anthrax	Risque bas car la maladie n'est pas présente sur la ferme
Métaux lourds	Arsenic, cadmium, mercure et plomb mesurés sur les lentilles d'eau fraîches étaient tous en dessous des standards GMP+
Bactéries	Salmonelles non détectées (standards GMP+) et enterobacteriaceae entre 8500 et 9000 CFU/g lentille d'eau fraîche (pas de standard GMP+, considéré acceptable par les auteurs)

ESB : encéphalopathie spongiforme bovine ; CFU : colonie formant une unité ; GMP+ : good manufacturing practices www.gmpplus.org

Les 38 espèces de lentilles d'eau ont des potentiels génétiques différents de croissance et d'accumulation d'acides aminés, d'amidon et d'acides gras selon les conditions de culture (Leng, 1999; Chakrabarti et al., 2018; Pagliuso et al., 2018; Stadlander et al., 2019). De plus amples recherches sont nécessaires pour trouver la combinaison optimale du potentiel génétique et des conditions de culture. De plus, une sélection génétique des lentilles d'eau reste largement à faire pour améliorer les rendements et la composition nutritionnelle des plantes.

Les lentilles d'eau comme aliment pour animaux de rente

Bien que plusieurs revues de littérature vantent le potentiel des lentilles d'eau pour une alimentation animale durable (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2018; Van Krimpen, 2014), la littérature rapportant la digestibilité des lentilles d'eau et les effets sur les performances animales est limitée en quantité et en qualité scientifique (Tableau 2). D'abord, la plupart des études utilisent des lentilles d'eau collectées dans la nature, ce qui pose le problème de la répétabilité car les conditions de culture (nutriments, température, hygiène) sont inconnues. Ensuite, les détails des procédures expérimentales font souvent défaut, ce qui soulève des questions sur la fiabilité des résultats. Ceci explique partiellement le manque d'enthousiasme pour les lentilles d'eau dans les rations modernes. Une autre limitation est la législation. Les lentilles d'eau ne sont pas encore listées comme aliment pour animaux dans la législation européenne et en Suisse. À cause de la combinaison des différentes génétiques et conditions de culture, qui influencent toutes deux la composition nutritionnelle des lentilles d'eau comme décrit plus haut, une comparaison exhaustive des valeurs nutritionnelles des différentes espèces de lentilles d'eau est compliquée à réaliser. À la récolte, la plante est composée à 90 voire 96% d'eau (Appenroth et al., 2017 ; Stadlander et al., 2019).

Dans des conditions axéniques similaires, *Wolffiella hyalina* produit plus de protéines (CP ; 350 g/kg MS) et *Landoltia punctuata* moins de protéines (200 g/kg MS) que *Spirodela polyrhiza*, *Lemna gibba*, *Lemna minor* et *Wolffia microscopica* qui présentent des valeurs intermédiaires (Appenroth et al., 2017). Des concentrations similaires en CP ont été rapportées en cultivant *Spirodela polyrhiza* (310 g/kg MS) et *Landoltia punctuata* (140 g/kg MS) dans une lisier de vache dilué à 1:10 (Stadlander et al., 2019). *Spirodela* est souvent préférée dans les essais sur les animaux à cause de ses larges frondes et de son taux protéique élevé, ainsi que *Lemna* (Tableau 2). Le profil des acides aminés des lentilles d'eau diffère selon les espèces et selon les études (Figure 1). En général, le ratio des acides aminés sulfurés sur le taux de lysine est en dessous du seuil de référence pour les poulets et les cochons tandis que le ratio dans autres acides aminés est égal ou supérieur aux valeurs de référence.

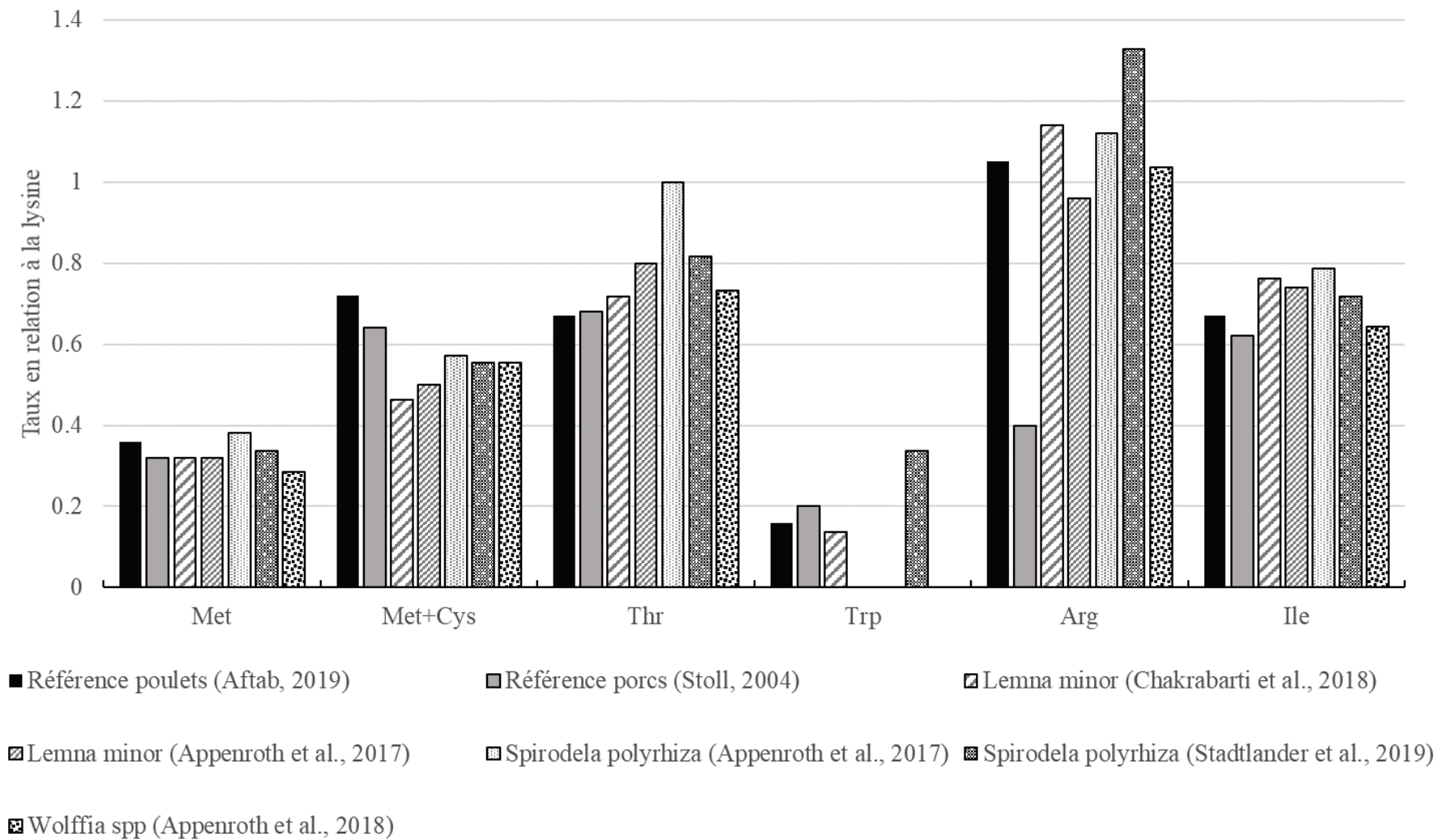
Tableau 2. Revue de littérature rapportant la digestibilité des lentilles d'eau chez les animaux de rente autres que les poissons et l'effet sur leurs performances

Type d'animal	Espèce de lentilles d'eau	Forme distribuée	Origine	Inclusion dans la ration	Effets	Auteurs
<i>In vitro</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Fraiche	Sauvage	Aucune donnée	Digestibilité pepsine-pancréatine N : 54%	Ly et al., 2002
Porcelets (21 kg)	<i>Lemna</i> spp.	Extrait de protéines	Parabel®	20%	Digestibilité iléale apparente N : 72%	Rojas et al., 2014
Porcs	<i>Lemna</i> spp.	Séchée à 45°C	Sauvage	Aucune donnée	Digestibilité iléale apparente N : 73%	Than Hang et al., 2009
Poulets	<i>Lemna minor</i>	Séchée au soleil	Aucune donnée	Remplace 2/3 du tourteau e sésame	GMQ : +7% Taux conversion aliment : -10%	Ahammad et al., 2003
Poulets	<i>Lemna gibba</i>	Séchée au soleil	Sauvage	Jusqu'à 25%* ^{NE}	GMQ : aucun effet jusqu'à 15% d'inclusion	Haustein et al., 1994
Poules pondeuses	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Séchée au soleil	Aucune donnée	12.6%* ^{NE}	Pas d'effet sur la ponte	Anderson et al., 2011
Poules pondeuses	<i>Lemna gibba</i>	Séchée au soleil	Sauvage	Jusqu'à 40%* ^{NE}	Pas d'effet sur la ponte jusqu'à 25% d'inclusion	Haustein et al., 1988
Agneaux	<i>Lemna</i> spp. & <i>Spirodela</i> spp.	Séchée au soleil	Sauvage	30%	Ingestion : -10% MS NH ₃ rumen : +36% vs. Taiwan grass AGV : pas d'effet Rétention N : +57%	Zetina-Córdoba et al., 2013
Moutons	<i>Spirodela punctata</i>	Séchée au soleil	Sauvage	11%* ^N	Ingestion : comme graines de coton NH ₃ rumen : comme graines de coton	Damry et al., 2001

GMQ : gains moyens quotidiens ; N : azote ; AGV : acides gras volatiles

*Isocalorique (^E) et/ou isoprotéique (^N) par rapport au contrôle

Figure 1: Profil d'acides aminés de lentilles d'eau en comparaison aux recommandations pour les poulets et les porcs (par rapport à la lysine)



Les lentilles d'eau contiennent seulement 40-80 g/kg MS de graisse (Kalita et al., 2007 ; Appenroth et al., 2017 ; Chakrabarti et al., 2018 ; Sharma et al., 2019). Le profil des acides gras dépend de l'espèce considérée. Celui de *Lemna minor* est constitué pour 25% d'acides gras saturés et pour 65% d'acides gras polyinsaturés (Appenroth et al., 2017 ; Chakrabarti et al., 2018) tandis que *Spirodela polyrhiza* contient proportionnellement plus d'acides gras saturés (32-39%) et moins d'acides gras polyinsaturés (48-53% ; Appenroth et al., 2017 ; Sharma et al., 2019). Dans tous les cas, les acides gras polyinsaturés sont majoritairement composés de C18:3n3, avec un ratio n6:n3 proche de celui du lin (Appenroth et al., 2017).

Les lentilles d'eau contiennent aussi des facteurs antinutritionnels mais trop peu de données sont disponibles pour une estimation fiable des effets négatifs sur les animaux de rente. Kalita et al. (2007) décrit 14.7 mg/g MS d'inhibiteur de trypsine, 35 mg/g MS d'oxalate de calcium, 9 mg/g MS de tannins et 0.04 mg/g MS de phytate dans les *Lemna minor*. Également dans les *Lemna minor*, Bairagi et al. (2002) décrit des niveaux similaires de tannins (10 mg/g MS) mais 12 g/kg MS d'acide phytique. La concentration en inhibiteur de trypsine n'est pas aussi haut que pour le soja (Egounlety et Aworh, 2003) et la concentration en oxalate est dans la tranche supérieure du soja (Massey et al., 2001). La concentration en phytate et tannins n'est pas un problème.

La concentration en amidon des lentilles d'eau est plutôt faible dans des conditions de croissance optimales, avec 40-100 g/kg MS (Appenroth et al., 2017). La teneur en fibres varie entre 100 g/kg MS (*Lemna minor* ; Kalita et al., 2007) et 286 g/kg MS (*Wolffia spp.* ; Appenroth et al., 2018). Une concentration de fibres insolubles dans les détergents neutres jusqu'à 400 g/kg DM a aussi été rapportée (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2018).

Les cendres représentent une part importante des lentilles d'eau, autour de 150-180 g/kg MS pour *Wolffia* (Appenroth et al., 2017 ; 2018), 180-210 g/kg MS pour *Spirodela* (Sharma et al., 2019 ; Stadlander et al., 2019) et 200-250 g/kg MS pour *Lemna* (Kalita et al., 2007 ; Chakrabarti et al., 2018). La composition minérale des lentilles d'eau est fortement influencée par la concentration en minéraux dans le milieu de culture (Appenroth et al., 2017).

Les lentilles d'eau en aquaculture

La littérature rapportant les effets des lentilles d'eau distribuées aux poissons souffre des mêmes faiblesses que la littérature concernant les autres animaux de rente au regard de la quantité et de la qualité scientifique. Les études récentes dans des conditions contrôlées et répétables sont rares. Chez le poisson-chat, la digestibilité apparente moyenne des acides aminés de *Spirodela polyrhiza* ne diffère pas de celle du soja (83 et 90%, respectivement), sauf pour l'arginine dont la digestibilité apparente est

inférieure de 15% (Da et al., 2013). Cependant, dans cette étude les taux de CP et d'acides aminés essentiels étaient très différents entre la ration à base de soja et la ration à base de lentilles d'eau, ce qui a pu influencer la digestibilité (Lee et Stein, 2020). Il est aussi important de noter que le profil des acides aminés de *Spirodela polyrhiza* (collectée dans la nature) dans cette étude différait grandement de celle d'autres études avec *Spirodela polyrhiza* issue de culture (Appenroth et al., 2017 ; Stadlander et al., 2019). Dans une étude comparant des rations isocaloriques et isoprotéiques à base de farines de poisson, *Spirodela polyrhiza* cultivée sur un lisier dilué à 10% et incluse dans la ration à 6 à 12% a négativement impacté le poids vif final (-9%) et la conversion de l'aliment (-6%) de truites arc-en-ciel (Stadlander et al., 2019). Les espèces à prédominance herbivore sont certainement plus aptes à tolérer les lentilles d'eau dans leur ration (Bairagi et al., 2002).

Les lentilles d'eau dans l'alimentation humaine

Le profil des acides aminés et des acides gras des lentilles d'eau en fait une source de nutriments intéressante pour l'Homme (Appenroth et al., 2017, 2018), bien que la concentration en acide oxalique puisse être problématique pour la consommation humaine (Kalita et al., 2007). À ce jour, aucune des espèces de lentilles d'eau n'est reconnue en tant que nouvel aliment sur la liste communautaire (bien que plusieurs applications aient été soumises; CE, 2021) mais *Lemna minor* peut être utilisée en complément alimentaire. La Suisse non plus ne reconnaît pas les lentilles d'eau dans l'alimentation humaine. L'ETH Foundation a récemment financé un projet pilote sur les lentilles d'eau en alimentation humaine (LemnaPro) via le Pioneer Fellowship. Malheureusement, la législation et la pandémie actuelle ont largement entravé le développement de cette start-up (Melanie Binggeli, communication personnelle, avril 2021). Aux USA, l'entreprise Parabel® a obtenu le certificat GRAS (Generally Recognised As Safe) pour son produit à base de lentilles d'eau Lentein™ (FDA, 2017).

Questions encore ouvertes

Comme mentionné plus haut, les lentilles d'eau fraîches sont majoritairement composées d'eau. À moins d'être distribuées immédiatement et sur le lieu de production, il faut les transformer afin de les préserver et de les transporter. Ceci permettrait aussi de distribuer des lentilles d'eau en hiver, lorsque les conditions météorologiques sont trop mauvaises pour la croissance des lentilles d'eau. Le séchage au soleil requière des conditions atmosphériques optimales tandis que le séchage au four est couteux en énergie, ce qui soulève des questions sur la durabilité environnementale et financière de cette pratique. Si les lentilles d'eau sont cultivées sur du lisier dilué, le procédé de conservation pourrait aussi servir d'assainissant contre les pathogènes éventuellement présents dans le milieu de culture. Une

amélioration de la digestibilité pourrait aussi être attendue. Les procédés hydrothermaux comme l'extrusion sont coûteux mais l'amélioration de la digestibilité et le pouvoir assainissant de ces méthodes pourraient en justifier les coûts (Zentek et Goodarzi Borojeni, 2020). La fermentation est aussi une alternative. De bonnes pratiques d'ensilage préservent les nutriments et limitent la croissance des pathogènes tout en étant peu coûteuse (Hoving et al., 2011 ; Dunière et al., 2013). Une amélioration de la digestibilité pourrait aussi résulter de la fermentation (Bairagi et al., 2002 ; Flores-Miranda et al., 2014) bien que des effets plutôt négatifs de l'ensilage des lentilles d'eau sur les performances des poissons aient récemment été rapportés (Stadtlander et al., 2020). À ce jour, aucune publication sur les effets du séchage, de l'extrusion et de l'ensilage sur l'inhibition des pathogènes et la digestibilité des protéines sur d'autres animaux de ferme n'est disponible. De plus, les techniques d'ensilage des lentilles d'eau restent à mettre en place (Jaelani et al., 2014 ; Hoving et al., 2011 ; Bairagi et al., 2002). Un autre point important qui nécessite plus de recherches concerne la teneur des différentes espèces de lentilles d'eau en facteurs antinutritionnels. Enfin, des essais répétables et fiables en nutrition animale sont nécessaires pour conclure sur l'intérêt des lentilles d'eau pour une alimentation animale durable.

Bibliographie

- Aftab, U. (2019): Energy et amino acid requirements of broiler chickens: keeping pace with the genetic progress. *Worlds Poult. Sci. J.* **75**: 507-514
- Ahammad, M.U., Swapon, M.S.R., Yeasmin, T., Rahman, M.S. et Ali, M.S. (2003): Replacement of sesame oil cake by duckweed (*Lemna minor*) in broiler diet. *Pak. J. Biol. Sci.* **6**: 1450-1453
- Anderson, K.E., Lowman, Z., Stomp, A.M. et Chang, J. (2011): Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. *Int. J. Poultry Sci.* **10**: 4-7
- Appenroth, K.-J., Sree, S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M. et Jahreis, G. (2017): Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chem.* **217**: 266-273
- Appenroth, K.-J., Sree, K.S., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Böhm, V., Lorkowski, S., Sommer, K., Vetter, W., Tolzin-Banasch, K., Kirmse, R., Leiterer, M., Dawczynski, C., Liebisch, G. et Jahreis, G. (2018): Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. *Front. Chem.* **6**: 483
- Bairagi, A., Sarkar Ghosh, K., Sen, S.K. et Ray, A.K. (2002): Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Bioresour. Technol.* **85**: 17-24
- Boonsaner, M. et Hawker, D.W. (2013): Evaluation of food chain transfer of the antibiotic oxytetracycline and human risk assessment. *Chemosphere* **93**: 1009-1014

- Burkholder, J., Libra, B., Weyers, P., Heathcote, S., Kolpin, D., Thorne, P.S. et Wichman, M. (2007): Impacts of waste from concentrated animal feeding operations on water quality. *Environ. Health Perspect.* **115**: 308-312
- Chakrabarti, R., Clark, W.D., Gopal Sharma, J., Kumar Goswami, R., Kumar Shrivastav, A. et Tocher, D.R. (2018): Mass production of Lemna minor and its amino acid and fatty acid profiles. *Front. Chem.* **6**: 479
- Da, C.T., Lundh, T. et Lindberg, J.E. (2013): Digestibility of dietary components and amino acids in plant protein feed ingredients in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) fingerlings. *Aquac. Nutr.* **19**: 619-628
- Damry, J.V.N., Bell, R.E. et Thomson, E.S. (2001): Duckweed as a protein source for fine-wool Merino sheep: its edibility and effects on wool yield and characteristics. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **14**: 507-514
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I. et Thévenot-Sergentet, D. (2013): Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.* **182**: 1-15
- CE, Commission Européenne (2021): Summary of application and notifications. Disponible à https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/authorisations/summary-applications-and-notifications_en
- Egounlety, M. et Aworh, O.C. (2003): Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). *J. Food Eng.* **56**: 249-254
- FDA, US Food and Drug Administration (2017): GRAS Notice 742. Disponible à <https://www.fda.gov/media/113614/download>
- Flores-Miranda, M.C., Luna-González, A., Cortés-Espinosa, D.V., Cotrés-Jacinto, E., Fierro-Coronado, J.A., Álvarez-Ruiz, P., González-Ocampo, H.A. et Escamilla-Montes, R. (2014): Bacterial fermentation of Lemna sp. as a potential substitute of fish meal in shrimp diets. *Afr. J. Microbiol. Res.* **8**: 1516-1526
- Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Rinne, M., Lamminen, M., Mapato, C., Ampapon, T., Wanapat, M. et Vanhatalo, A. (2018): Review. Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. *Animal* **12**: 295-309
- Haustein, A.T., Gilman, R.H., Skillicorn, P.W., Vergara, V., Guevara, V. et Gastañaduy, A. (1988): Duckweed, a useful strategy for feeding chickens: performance of layers fed with sewage-grown Lemnaceae species. *Poultry Sci.* **69**: 1835-1844
- Haustein, A.T., Gilman, R.H., Skillicorn, P.W., Hannan, H., Díaz, F., Guevara, V., Vergara, V., Gastañaduy, A. et Gilman, J.B. (1994): Performance of broiler chickens fed diets containing duckweed (*Lemna gibba*). *J. Agric. Sci.* **122**: 285-289.
- Hoving, I.E., Van Schooten, H.A., Holshof, G., Van Houwelingen, K.M. et Van de Geest, W. (2011): Inkuilen van eendekroos als veevoer met verschillende additieven [Ensilage des lentilles d'eau pour la nutrition animale avec différents additifs]. Eds. Livestock Research Wageningen UR, Lelystad, Pays Bas. Disponible à <http://edepot.wur.nl/185846>

- Jaelani, A., Djaya, S. et Rostini, T. (2014): Characteristics and nutrition silage duckweed (family Lemnaceae) addition with different additives. *Int. J. Biosci.* **5**: 144-150
- Kalita, P., Mukhopadhyay, P.K. et Mukherjee, A.K. (2007): Evaluation of the nutritional quality of four unexplored aquatic weeds from northeast India for the formulation of cost-effective fish feeds. *Food Chem.* **103**: 204-209
- Kroes, K., Huurman, S., De Visser, C., Hemke, G., Van Liere, J. et Van den Top, N. (2016): De ECOFERM Kringloopboerderij in de praktijk [L' ECOFERM Cycle Farm en pratique]. Eds. Innovatie Agro & Natuur, Utrecht, the Netherlands. Report 16.2.338. Disponible à <https://edepot.wur.nl/377521>
- Lee, S.A. et Stein, H.H. (2020): Effects of dietary amino acid concentration on digestibility of amino acids in soybean meal and soy protein concentrate fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* **98** Suppl. 3: 65
- Leng R.A. (1999): Duckweed: a tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment. Eds. Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy. Disponible à <http://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/Dw2.htm>
- Les, D.H., Crawford, D.J., Landolt, E., Gabel, J.D. et Kimball, R.T. (2002): Phylogeny and systematics of Lemnaceae, the duckweed family. *Syst. Bot.* **27**: 221-240
- Ly, J., Samkol, P. et Preston, T.R. (2002): Nutritional evaluation of aquatic plants for pig: pepsin/pancreatin digestibility of six plant species. *Livest. Res. Rural Dev.* **14**
- Massé, D.I., Cata Saady, N.M. et Gilbert, Y. (2014): Potential of biological processes to eliminate antibiotics in livestock manure: an overview. *Animals* **4**: 146-163
- Massey, L.K., Reid, G. et Horner, H.T. (2001): Oxalate content of soybean seeds (*Glycine max*: Leguminosae), soyfoods and other edible legumes. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 4262-4266
- Pagliuso, D., Grandis, A., Igarashi, E.S., Lam, E. et Buckeridge, M.S. (2018): Correlation of apiose levels and growth rates in duckweeds. *Front. Chem.* **6**: 291
- Rojas, O.J., Liu, Y. et Stein, H.H. (2014): Concentration of metabolizable energy and digestibility of energy, phosphorus, and amino acids in lemna protein concentrate fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* **92**: 5222-5229
- Scheinman, H.A., Dittmar, K., Stöckel, F.S., Müller, H. et Krüger, M.E. (2015): Hygienisation and nutrient conservation of sewage sludge or cattle manure by lactic acid fermentation. *PLoS ONE* **10**: e0118230
- Sharma, J.G., Clark, W.D., Kumar Shrivastav, A., Kumar Goswami, R., Tocher, D.R. et Chakrabarti, R. (2019): Production potential of greater duckweed *Spirodela polyrhiza* (L. Schleiden) and its biochemical composition evaluation. *Aquac.* 513: 734419
- Stadtlander, T., Förster, S., Rosskoth, D. et Leiber, F. (2019): Utility of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) to recycle nitrogen and phosphorus from cattle slurry into a protein-rich feed ingredient for rainbow trout fry. *J. Clean. Prod.* **22**: 86-93
- Stadtlander, T., Surber, J., Pietsch, C., Tschudi, F., Sigrist, M., Seitz, A., Kreuzer, M. et Leiber, F. (2020): Utilization of duckweed as fish meal replacement in common carp (*Cyprinus carpio*). Dans: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*. DLG-Verlag GmbH. **29** p. 39

- Stoll, P. (2004): 2. Bedarfsermittlung Protein und Aminosäuren [Détermination des besoins en protéines et acides aminés]. Dans: *Fütterungsempfehlungen für Schweine (Gelbes Buch)*. Agroscope, Posieux, 31-38
- Than Hang, D., Quang Linh, N., Everts, H. et Beynen, A.C. (2009): Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal and rice bran with inclusion of cassava leaves, sweet potato vine, duckweed and stylosanthes foliage. *Livest. Res. Rural Dev.* **21**
- Van Krimpen, M. (2014): Regional high protein feeds for poultry diets. LowInputBreeds technical note 4.2. Consortium of the LowInputBreeds project. Disponible à https://www.lowinputbreeds.org/fileadmin/documents_organicresearch/lowinputbreeds/tn-4-2-van_krimpen-2014-poultry_diets.pdf
- Venglovsky, J., Sasakova, N. et Placha, I. (2009): Pathogens and antibiotic residues in animal manures and hygienic and ecological risks related to subsequent land application. *Bioresour. Technol.* **100**: 5386-5391
- Zetina-Córdoba, P., Ortega-Cerrilla, M.E., Ortega-Jiménez, E., Herrera-Haro, J.G., Sánchez-Torres-Esqueda, M.T., Reta-Mendiola, J.L., Vilaboa-Arroniz, J. et Munguía-Ameca, G. (2013): Effect of cutting interval of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*) and partial substitution with duckweed (*Lemna* sp. and *Spirodela* sp.) on intake, digestibility and ruminal fermentation of Pelibuey lambs. *Livest. Sci.* **157**: 471-477
- Zentek, J. et Goodarzi Borojeni, F. (2020): (Bio)Technological processing of poultry and pig feed: impact on the composition, digestibility, anti-nutritional factors and hygiene. *Anim. Feed Sci. Technol.* **268**
- Zhang, Y., Hu, Y., Yang, B., Ma, F., Lu, P., Li, L., Wan, C., Rayner, S. et Chen, S. (2010): Duckweed (*Lemna minor*) as a model plant system for the study of human microbial pathogenesis. *PLoS ONE* **5**: e13527.

Futtermittel für Pferde mit Mehrwert

B. Wichert

Institut für Tierernährung, Vetsuisse Fakultät Universität Zürich, 8057 Zürich, Schweiz

Kontakt: Brigitta Wichert, bwichert@nutrivet.uzh.ch

Der Futtermittelmarkt bietet in der heutigen Zeit nahezu unendlich viele Futtermittel an. Bei der Überlegung welche Futtermittel einen „Mehrwert“ haben, stellt sich zunächst die Frage, für wen der Mehrwert bestehen soll: 1. Für das Wohlbefinden und/oder die Gesundheit des Pferdes? 2. Für den Besitzer? Wird vom Pferd ausgegangen, muss der „Mehrwert“ eines Futtermittels sich auf dessen Nährstoffzusammensetzung oder aber auf die Verarbeitungs- oder Zubereitungsform beziehen. In Bezug auf den Besitzer kann der Mehrwert auch durch eine ansprechende Verpackung, eine vielversprechende Werbeaussage oder ein appetitliches Aussehen des Futters gewährleistet werden. Ein Lebensmittel, das mit zusätzlichen Inhaltsstoffen angereichert ist, um sich positiv auf die Gesundheit auszuwirken wird im Humanbereich als „functional food“ bezeichnet. In der Tierernährung sieht die Schweizer Futtermittel-Verordnung „Diätfuttermittel“ als „Futtermittel für einen besonderen Ernährungszweck“ vor. Wenn diese so bezeichnet und auch beworben werden dürfen, muss der „besondere Ernährungszweck“ zugelassen sein. Dabei sind die besonderen ernährungsphysiologischen Merkmale und damit auch die Nährstoffe, mit denen die Wirkung erzielt werden kann, festgelegt. Auch Futtermittelzusatzstoffe, die nach der Schweizer Futtermittelbuch-Verordnung ebenfalls zugelassen sein müssen, sind Substanzen die nachweislich eine Wirkung auf das Futtermittel, die Umwelt oder das Tier haben müssen und für diese beworben werden dürfen.

Für Diätfuttermittel sind als „besonderer Ernährungszweck“ für Pferde aktuell a) „Unterstützung der Regeneration von Hufen, Füßen und Haut“, b) „Unterstützung der Vorbereitung auf Östrus und Reproduktion“, c) „Stabilisierung der physiologischen Verdauung“, d) „Ausgleich bei chronischer Insuffizienz der Dünndarmfunktion“, e) „Ausgleich bei chronischen Verdauungsstörungen des Dickdarms“, f) „Minderung von Stressreaktionen“, g) „Ausgleich bei Elektrolytverlusten bei übermäßigem Schwitzen“, h) „Unterstützung der Vorbereitung auf und der Erholung von sportlicher Anstrengung“, i) „Ernährungsphysiologische Wiederherstellung, Rekonvaleszenz“, j) „Stützung der Leberfunktion bei chronischer Leberinsuffizienz“, k) „Stützung der Nierenfunktion bei chronischer Niereninsuffizienz“ und für Fohlen l) „Stabilisierung des Wasser- und Elektrolyt-haushalts zur Unterstützung der physiologischen Verdauung“ zugelassen (Futtermittelbuch-Verordnung). Diese

Fülle an „besonderen Ernährungszwecken“ lässt inzwischen eine Vielzahl an Diätfuttermitteln für Pferde zu. Dennoch ist die Zahl der auf dem Markt verfügbaren Diätfuttermittel für Pferde noch überschaubar. Dort werden bisher Futtermittel zur Unterstützung der Leberfunktion und des Stoffwechsels ebenso wie Futtermittel zur Unterstützung der Rekonvaleszenz und bei Verdauungsproblemen angeboten. Allerdings verändert sich das Futterangebot im Pferdesektor ständig.

Viele der angebotenen Pferdefuttermittel preisen diverse positive Wirkungen auf das Pferd an, obwohl dies als „gesundheitsbezogene Werbung“ verstanden werden könnte und damit nicht erlaubt wäre. Für den Pferdehalter, der nicht über vertieftes Wissen in der Pferdeernährung verfügt, ist es schwierig, den Überblick zu behalten. Kräuter sind in kommerziellen Pferdefuttermitteln weit verbreitet und werden ebenfalls als „functional foods“ angepriesen (Williams und Lamprecht, 2008). Allerdings sind ihre Wirkungen nur wenig wissenschaftlich untersucht. Substanzen wie Echinacea, Knoblauch oder Ginseng als ganze Pflanzen als Teil von Futtermitteln sind nicht reguliert, obwohl ihre optimale unbedenkliche Dosis nicht untersucht ist (Williams und Lamprecht, 2008). Der Einsatz von Pflanzenauszügen dagegen ist aus Sicht der Futtermittel-Verordnung (2021) heikler, da sie ohne klaren Nährstoffgehalt, der zur Ernährung beiträgt keine Futtermittelausgangserzeugnisse sein können. Wenn sie dagegen als Futtermittelzusatzstoffe zugelassen werden sollen, dürfen sie kein Arzneimittel sein und müssen eine nachweisbare Wirkung haben (Futtermittelbuch-Verordnung, Schweiz 2021). Propolis gehört zu den Substanzen, deren entzündungshemmende Wirkung tatsächlich nachgewiesen werden konnte, wenn der Einsatz beim Pferd selbst auch nicht untersucht wurde (Turner et al., 2006). Ob der erzielbare Effekt durch die Verabreichung von Propolis tatsächlich in allen Bereichen wie dem Immunsystem, der Leber und der Darmgesundheit so gross ist, wie die Werbung suggeriert, ist jedoch unklar. Auch Echinacea wurde schon häufig bei Menschen und Nagern auf seine immunstimulierende Wirkung untersucht. O'Neill et al. (2002) fanden bei Pferden einen positiven Effekt eines Echinaceaextraktes auf das Immunsystem.

Neben Kräutern gelten auch Leinsamen bzw. Leinöl und Fischöle als wirksame Futterkomponenten für Pferde. In Bezug auf Leinsamen werden die omega 3 Fettsäuren für das Haarkleid (O'Neill et al. 2002) und die Faserkomponenten wegen ihrer Schleimstoffe und der abführenden Wirkung als positiv bzw. „Mehrwert“ angesehen. Eine entzündungshemmende Wirkung der omega 3 Fettsäuren konnte jedoch nur bei Einsatz langkettiger mehrfach ungesättigter omega 3 Fettsäuren aus z.B. Fischöl nachgewiesen werden (Khol-Parasini et al. 2007).

Aktuell werden häufig Futtermittel als Aminosäureenergänzung für Pferde beworben. Ausserdem werden unterschiedlichste Mashs angeboten oder Futtermittel, die sich positiv auf den Magen-Darm-

Trakt der Pferde auswirken. In Bezug auf eine Aminosäureenergänzung muss beachtet werden, dass das verwendete Ergänzungsfutter tatsächlich relevante Mengen der bekannten limitierenden Aminosäuren enthält. Auf Basis der noch relativ geringen Datengrundlage im Bereich der Aminosäuren, empfiehlt die GfE (2014) vorerst vor allem die praecaecal verdaulichen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystin als Summe schwefelhaltiger Aminosäuren und zusätzlich Threonin zu beachten. Wenn diese im Spezialfutter fehlen, oder ein Ergänzungsfuttermittel für „hochwertige Proteine für den Muskelaufbau“ beworben wird, dabei aber nur einen sehr geringen Proteingehalt von <10% aufweist, ist hier sicherlich kein „Merhwert“ für das Pferd zu finden (eigene Beobachtungen). Von Pferdebesitzern wird Mash häufig als besonders wertvoll für das Wohlbefinden ihres Pferdes angesehen (anekdotenhafte Berichte). Dieses ist ursprünglich als Energieergänzung für das Pferd gedacht, oder es wird wegen seiner leicht abführenden Wirkung eingesetzt. Zusammengesetzt war ein Mashrezept früher nur aus Weizenkleie/Haferschälkleie, Getreide, Leinsamen (Coenen und Vervuert, 2019) und bei der Verwendung als abführendes Diätetikum auch Glaubersalz. Für viele Fertigmashprodukte scheint der „Mehrwert“ jedoch eher beim Besitzer zu liegen, da diese in ihrer Zusammensetzung und ihrem Erscheinungsbild auf deren Bedürfnisse mehr Wert legen als auf eine Wirkung im Pferdedarm. Ebenso sind diverse Futtermittel zur Unterstützung des Magendarmtraktes auf dem Markt. In diesen werden teilweise zugelassene Futtermittelzusatzstoffe wie z.B. *Saccharomyces cerevisiae* eingesetzt für die eine Wirksamkeit nachgewiesen ist, welche dann auch beworben werden darf. Die Vielfalt der Ergänzungsfuttermittel umfasst ausserdem Diätfuttermittel, deren Nährstoffzusammensetzung eine Zuordnung zu einem der besonderen Ernährungszwecke, wie z.B. „Stabilisierung der physiologischen Verdauung“ oder „Ausgleich bei chronischen Verdauungsstörungen des Dickdarms“, zulässt (Futtermittelbuch-Verordnung). Andere Futtermittel dieses Bereiches arbeiten dagegen mit Kräutern oder anderen Futterbestandteilen, die viel versprechen, ohne dass es dafür eine wissenschaftliche Grundlage gibt. Hier sprechen die unterschiedlich zusammengesetzten Futtermittel sicherlich den Besitzer mit seiner eigenen „Philosophie“ in Bezug auf die Ernährung an.

Für das Pferd selbst hat Raufutter, das eine gute hygienische Qualität aufweist, sicherlich den grössten „Mehrwert“. Strukturwirksame Grob- oder Raufuttermittel haben beim Pferd unterschiedliche Effekte: 1. Sie beschäftigen das Pferd längerfristig mit der Futteraufnahme und befrieden 2. das Kaubedürfnis des Pferdes. 3. Sie ermöglichen einen artgerechten Zahnabrieb. 4. Durch das Kauen und die damit verbundene Speichelbildung, ermöglichen sie eine gute Durchfeuchtung des Futters und eine Pufferung des Magens, was ausserdem 5. zu einem optimalen pH-Wert für die Verdauungsenzyme im Dünndarm führt. Eine weitere 6. Wichtige Funktion von Raufutter im Magen-

Darm-Trakt des Pferdes ist die Stabilisierung des Darmmilieus und die Schaffung stabiler Fermentationsbedingungen (GfE, 2014).

Insgesamt kann der Titel „Futtermittel für Pferde mit Mehrwert“ auf unterschiedliche Art ausgelegt werden. Wie dargestellt, gibt es auf der einen Seite Futtermittel, die Komponenten oder Zusammensetzungen aufweisen, die nachgewiesene Wirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Pferde haben. Im Falle von Diätfuttermitteln oder bei Einsatz von zugelassenen Futtermittelzusatzstoffen, darf mit diesen Wirkungen auch geworben werden. Dennoch sind neben solchen Produkten viele andere Produkte ohne einen klaren Wirksamkeitsnachweis auf dem Markt, die einen „Mehrwert“ für das Pferd zwar vermuten lassen, wobei die Definition des „Mehrwertes“ jedoch allein auf der Vorstellung des Besitzers beruht. Für das Pferd als Dickdarmverdauer wäre in vielen Fällen mehr Raufutter und damit eine artgerechtere Ernährung ein „Mehrwert“ für sein Wohlbefinden.

Literatur

Coenen, M., Vervuert, I. (2019): Pferdefütterung. Thieme Verlag, ISBN 978-3-13-241178-4

Futtermittelbuch-Verordnung: (Verordnung des WBF über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung und Diätfuttermitteln in der Fassung vom 26. Oktober 2011, Stand 01.01.2021

Futtermittel-Verordnung: (Verordnung über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln in der Fassung vom 26. Oktober 2011, Stand 01.01.2021

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). (2014): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden. Kapitel 7, S. 145

Kohl-Parasini, A., van den Hoven, R., Leinker, S., Hulan, H., Zentek, J. (2007): Effects of feeding sunflower oil or seal blubber oil to horses with recurrent airway obstruction. *Canad. J. Vet. Res.* **71**: 59-65

O'Neill, W., McKee, S., Clarke, A.F. (2002): Flaxseed (*Linum usitatissimum*) supplementation associated with reduced skin test lesional areain horses with Culicoideshypersensitivity. *Canad. J. Vet. Res.* **66**: 272-277

Williams, C.A. and Lamprecht, E.D. (2008): Some commonly fed herbs and other functional foods in equine nutrition: A review. *The Vet. J.* **178**: 21-31

Turner, K.K., Nielsen, B.D., O'Connor, C.I., Burton, J.L. (2006): Beepollen product supplementation to horses in training seems to improvefeed intake: a pilot study. *J Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **90**: 414-420.

Valeur ajoutée des composés bioactifs végétaux pour les porcelets sevrés

M. Girard et G. Bee

Groupe de recherche Porc, Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Contact: Marion Girard, marion.girard@agroscope.admin.ch

Introduction

Le sevrage est une période critique associée à une brusque transition alimentaire et des bouleversements d'ordre environnementaux et sociaux pour les porcelets. De nombreux changements physiologiques, immunologiques et microbiologiques se produisent dans le tractus gastro-intestinal rendant les porcelets plus sensibles aux agents entéropathogènes, et notamment à *Escherichia coli* entérotoxique (ETEC). Ces perturbations entraînent des diarrhées de post-sevrage (DPS) qui détériorent les performances des animaux et augmentent les frais vétérinaires. La bactérie ETEC est détectée dans 60 % et 37 % des exploitations touchées par la DPS en Europe et en Suisse, respectivement (Hartmann, 2016; Luppi et al., 2016). Ces DPS sont aussi une des causes principales de consommation d'antibiotiques dans l'élevage porcin. Une utilisation accrue d'antibiotiques a été associée à une incidence croissante de la résistance aux antibiotiques. Il a été montré que 70 % des *E. coli* pathogènes isolées dans des élevages porcins suisses présentait une résistance à au moins un antibiotique (Brand et al., 2017). Cette augmentation des résistances suscite des inquiétudes en matière de santé animale et de santé publique et augmente la pression politique pour réduire l'utilisation des antibiotiques dans la production porcine. Bien que des efforts considérables aient été réalisés ces dernières années en Europe, des solutions sont encore nécessaires (European Medicines Agency, 2018). Outre la sélection génétique de porcelets résistants aux ETEC et la vaccination, des approches nutritionnelles telles que la réduction de la teneur en protéines et l'utilisation d'additifs alimentaires (prébiotiques, probiotiques et acides organiques), semblent être les solutions les plus rentables actuellement utilisées (Fairbrother et al., 2005, Heo et al., 2013). Depuis plusieurs années, parallèlement à une volonté de durabilité et d'acceptabilité par les consommateurs, un intérêt croissant pour les composés bioactifs issus de plantes a émergé. Parmi ceux-ci, les tanins possèdent de nombreuses propriétés qui pourraient améliorer la santé digestive des porcelets et diminuer les DPS, ce qui permettrait de réduire le recours aux antibiotiques. Cette synthèse vise à présenter la grande diversité des tanins et leurs contributions possibles à la réduction de la DPS causée par ETEC et à l'amélioration de la santé intestinale des porcelets. Les facteurs pouvant affecter leur efficacité seront aussi discutés.

Les tanins, tous les mêmes ?

Définition, classification et propriétés

Les composés bioactifs sont des métabolites secondaires des plantes qui provoquent des effets pharmacologiques ou toxicologiques sur les organismes (Bernhoft, 2010). Ils ne sont pas impliqués dans les fonctions primaires des plantes, telles que la reproduction et la croissance végétale, mais ont un rôle important dans l'interaction de la plante avec son environnement. On les trouve dans les fleurs, les feuilles, les graines, les fruits, les racines et l'écorce des arbres. Les principales classes biochimiques de composés bioactifs sont : les alcaloïdes, les glycosides, les polyphénols et les terpènes. Les polyphénols constituent l'un des plus grands groupes de composés bioactifs du règne végétal, avec plus de 8000 structures phénoliques connues. Parmi les polyphénols, les tanins constituent un groupe hétérogène de molécules astringentes qui couvrent une large gamme de poids moléculaires. On distingue notamment :

- les très répandus tanins condensés (TC ; Figure 1) : également appelés proanthocyanidines, qui sont des oligomères (2 à 10 monomères) ou des polymères (>10 monomères) de flavan-3-ols. Ils sont caractérisés par leur degré de polymérisation et la nature des monomères flavan-3-ols. Les flavan-3-ols peuvent être de l'['épi]catéchine, de l'['épi]afzéléchine, de l'['épi]gallocatéchine, de l'['épi]fisétinidol et de l'['épi]robinetinidol, en fonction de la position de leurs groupes -OH et -H. L'assemblage de ces monomères donne naissance à différentes classes de polymères tels que les procyanidines, les prodelphinidines, les profisétinidines et les prorobinetinidines. Par exemple, les procyanidines contiennent de la catéchine et de l'épicatéchine et les prodelphinidines de la gallocatéchine et de l'épigallocatéchine. Les plantes contiennent un mélange de ces différentes classes.
- les tanins hydrolysables (TH) : avec près de 500 molécules différentes identifiées, sont eux même divisés en gallotanins (rare) et en ellagitanins (très répandus). Les dérivés simples de l'acide gallique constituent une troisième sous-classe de HT. Les dérivés simples de l'acide gallique et les gallotanins contiennent des substituants de l'acide gallique qui sont estérifiés avec un résidu de polyol, généralement un D-glucose. L'oxydation des gallotanins par couplage d'au moins deux unités galloyles (HHDP ; hexahydroxydiphénique) forme des ellagitanins.
- les tanins complexes : qui sont constitués d'un hydrate de carbone central, d'une unité de flavan-3-ol, d'un groupe galloyle et/ou d'un groupe HHDP.
- les phlorotanins : présents dans les algues brunes et qui sont des oligomère de phloroglucinol.

Grâce à leurs groupes hydroxyles et phénoliques, les tanins sont des molécules très réactives qui interagissent par liaison hydrogène ou par interactions hydrophobes avec les macromolécules. Dans certaines conditions (température et pH élevés, conditions oxydatives...), ils peuvent former des liaisons covalentes irréversibles. Des interactions avec les protéines (dont les enzymes), les glucides, les lipides, les ions métalliques ont été rapportées (Hagerman et Butler, 1981; Oladoja et al., 2011; Jakobek, 2015).

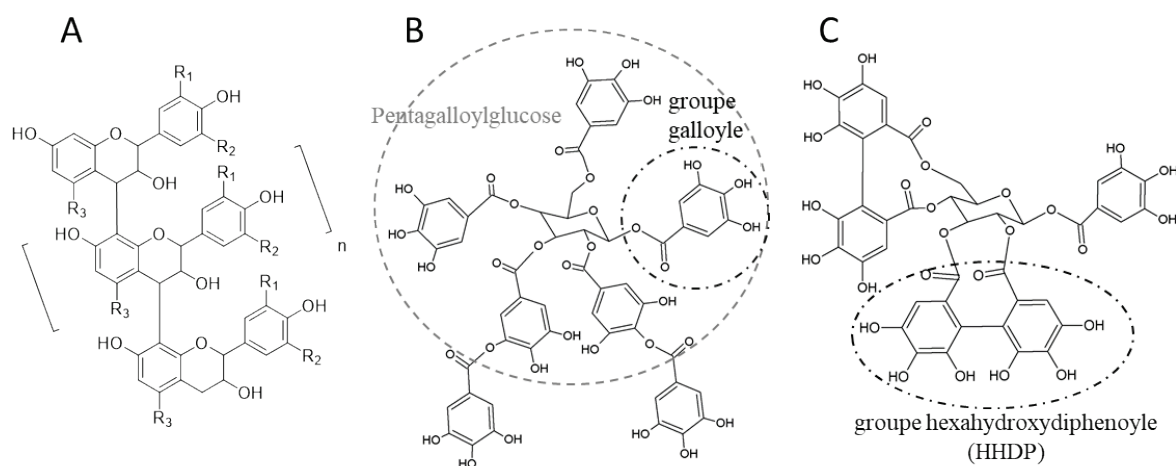


Figure 1: Structure chimique d'une molécule de (A) tanin condensé, (B) gallotanin et (C) ellagitanin.

Absorption et métabolisme des tanins dans le tractus gastro-intestinal

Peu d'études ont examiné la pharmacocinétique des tanins. Il semble que les TC soient relativement stables dans l'estomac. Seules de petites quantités de flavan-3-ols ainsi que des dimères ou trimères de TC pourraient être absorbés dans l'intestin grêle sans être métabolisés. Cependant, les oligomères (plus grands que les trimères) et les polymères ne peuvent pas être absorbés par transport passif et atteignent le côlon intact, où le microbiote les catabolise en acides hydroxyphénoliques, qui peuvent être absorbés par les colonocytes (Mena et al., 2019).

Comme pour les TC, les polymères des TH ne peuvent pas être absorbés sous leur forme native. Cependant, les gallotanins peuvent être hydrolysés par les enzymes intestinales et le microbiote du côlon libérant le polyol central (glucose) et l'acide gallique, ce dernier étant finalement métabolisé pour produire des acides gras volatils. Les ellagitanins sont résistants à l'action de certaines enzymes présentes dans l'intestin grêle et sont donc clivés par le microbiote du côlon pour donner de l'acide ellagique. Chez le porc, il semble également que l'acide ellagique puisse être métabolisé en urolithines dans tout l'intestin (Espín et al., 2007). Cependant, en raison de leur structure chimique, les ellagitanins sont plus difficiles à dégrader que les gallotanins.

Les tanins ont un large éventail d'effets sur les bactéries

Pathogénie de l'infection par ETEC

La pathogénicité des ETEC est due à leurs adhésines et entérotoxines, qui sont responsables de leur virulence. Après ingestion par des porcelets sensibles aux ETEC, ces derniers se fixent aux microvillosités ou au mucus recouvrant l'épithélium via leurs adhésines fimbriales. Cette fixation évite l'élimination des ETEC par le péristaltisme intestinal et est essentielle pour la colonisation du jéjunum et de l'iléon. Les types courants de fimbriae d'ETEC trouvés chez les porcelets souffrant de DPS sont F18 et F4. Il semblerait également que la formation de biofilms joue un rôle important dans la colonisation bactérienne de l'intestin (Hancock et al., 2010). Certaines adhésines bactériennes afimbriales, telle que l'adhésine impliquée dans l'adhérence diffuse (AIDA), favoriseraient l'adhérence bactérie à bactérie. Ravi et al. (2007) ont par exemple montré qu'un mutant AIDA-négatif de ETEC perdait sa capacité à s'agréger, à former des biofilms et à induire des diarrhées chez les porcelets. Une fois attachés à l'épithélium, les ETEC sécrètent des entérotoxines, la toxine thermolabile (LT) et les toxines thermostables a et b (STa et STb). Chaque toxine possède un récepteur spécifique situé sur la face apicale des entérocytes. La toxine LT adhère à son récepteur GM1, STa se lie à la guanylate cyclase-C alors que le récepteur de STb semble être un récepteur aux sulfatides. La fixation de ces toxines sur leurs récepteurs déclenche une cascade de signalisation intracellulaire entraînant la phosphorylation du régulateur transmembranaire de la fibrose kystique (CFTR) et d'un échangeur Na⁺/H⁺. Ce processus conduit à une hypersécrétion d'électrolytes (ions chlorure et carbonate) et à une inhibition de la réabsorption du Na⁺ dans la lumière intestinale. L'eau est alors attirée osmotiquement dans la lumière, ce qui entraîne une diarrhée aqueuse (Dubreuil et al., 2016).

Inhibition in vitro de la croissance bactérienne

Les TC et les TH ont des effets bactéricides et bactériostatiques sur les bactéries pathogènes, en particulier contre *E. coli*. Il est intéressant de noter que des extraits de plantes médicinales mauriciennes perdent leurs propriétés antibactériennes lorsque les tannins sont préalablement retirés de ces extraits, ce qui confirme l'implication des tannins dans les effets antimicrobiens (Jelager et al., 1998). Le tableau 1 résume les effets antimicrobiens de certaines plantes contenant des tannins. Les tanins altèrent la croissance bactérienne par déstabilisation de la membrane cytoplasmique et par inhibition des enzymes extracellulaires. Il a été démontré qu'ils peuvent chélater le fer et le zinc, nécessaires à la croissance de certaines espèces bactériennes (Chung et al., 1998).

Tableau 1 : Effets antimicrobiens *in vitro* de quelques tanins

Plante	Partie	Tanins (TC ou TH) ¹ :	Type de tannin ou de métabolite	Bactérie	Référence
Grenade (<i>Punica granatum L.</i>)	peau du fruit	TH	ellagitanins (punicalagine) et acide ellagique (métabolite)	<i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Y. enterocolitica</i>	Al-Zoreky, 2009
Châtaignier (<i>Castanea sativa</i>)	bois	TH	gallotanins et ellagitanins	<i>C. jejuni</i> , <i>C. perfringens</i> type A, <i>E. coli</i> , <i>P. multocida</i> , <i>S. enteritidis</i> , <i>S. gallinarum</i> ,	Graziani <i>et al.</i> , 2006
Rosier du Japon (<i>Rosa rugosa</i>)	pétales	TH	ellagitanins (tellimagrandine II, rugosine A et D)	<i>B. cereus</i> , <i>E.</i> , <i>Salmonella</i> sp., <i>S. aureus</i>	Kamijo <i>et al.</i> , 2008
Sumac ailé (<i>Rhus copallina</i>)	feuilles	TC:TH (17%:83%)	gallotanins et ellagitanins		
Chêne de Havard (<i>Quercus havardii</i>)	feuilles	TC:TH (29%:71%)	catéchine (flavan-3-ol), gallotanins et ellagitanins	<i>E. coli</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>S. aureus</i>	Min <i>et al.</i> , 2008
Quebracho (extract) (<i>Schinopsis spp</i>)	non précisé	TC:TH (98.5%:1.5%)	profisetinidines et prorobinetinidines		
Châtaignier japonais (<i>Castanea crenata</i>)	bois	TH	castalagine		
Eleocarpus des bois (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	écorce	TC	prodelphinidines	<i>E. coli</i> (non-pathogène, entérohémorragique, entéroinvasive, entétotoxique), <i>Salmonella</i> , <i>S. aureus</i>	Taguri <i>et al.</i> , 2004
Néflier du Japon (<i>Eriobotrya japonica</i>)	graines	TC	procyanidines		
Acacia noir (<i>Acacia mearnsii</i>)	écorce	TC	procyanidines, prodelphinidines, prorobinetinidines et profisetinidines	<i>B. subtilis</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. dysenteriae</i> , <i>S. aureus</i>	Yao <i>et al.</i> , 2006

¹ TC: tanins condensés; TH : tanins hydrolysables

Inhibition de l'adhésion bactérienne à l'épithélium intestinal et de la formation de biofilms

L'attachement à l'épithélium intestinal est une étape essentielle à la colonisation bactérienne et à la formation de biofilms. Il a été montré qu'une concentration de 10 et 100 µg/ml d'extrait de canneberge, contenant des TC, réduisait l'adhésion *in vitro* d'*E. coli* F18 vérotoxique et ETEC F4 respectivement (Coddens et al., 2017). De plus, une pré-incubation des fimbriae F18 et F4 avec ce même extrait à une concentration de 2 mg/ml empêchait la fixation des fimbriae sur la bordure en brosse de l'épithélium intestinal. Similairement à la canneberge, un extrait de pentagalloylglucose, un mélange de TH et un mélange de procyanidines et flavan-3-ols de fèves de cacao, tous les trois à une concentration de 150 µg/ml, ont permis de réduire l'adhésion de ETEC F4 à l'épithélium intestinal (Verhelst et al., 2010).

Certains tanins peuvent inhiber la formation de biofilms chez certaines bactéries pathogènes. Par exemple, 150 µg/ml d'extrait de grenade contenant des ellagitanins (principalement de la punicalagine) et de l'acide ellagique ont inhibé la formation de biofilms de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline et d'*E. coli* (Bakkiyaraj et al., 2013). Cette capacité d'inhibition est intéressante car les biofilms diminuent la pénétration des antibiotiques et facilitent le transfert horizontal de gènes, en particulier des gènes de résistance aux antibiotiques.

Inhibition de la production d'entérotoxines et leurs activités

Comme indiqué précédemment, la virulence de certaines bactéries est due à la production d'entérotoxines qui se lient à des récepteurs spécifiques de l'hôte. Certains tanins peuvent affecter ce processus et interférer avec la voie de transduction du signal en inhibant les canaux ioniques. L'extrait de quebracho, contenant des polymères de TC (profisétinidines et prorobinetinidines) et l'extrait de châtaignier, contenant des gallotanins et des ellagitanins (principalement vescalagine et castalagine) ont réduit l'activité lécithinase de la toxine α et la cytotoxicité de la toxine ϵ de *Clostridium perfringens* (Elizondo et al., 2010). Les ellagitanins (principalement la punicalagine) et l'acide ellagique de la grenade ont diminué la production d'entérotoxine A de *S. aureus*. (Braga et al., 2005). Il a été démontré que plusieurs TH interféraient l'interaction des entérotoxines d'ETEC avec leurs récepteurs. Par exemple, l'affinité des toxines LT pour leurs récepteurs GM1 diminue en présence d'extrait de *Galla Chinensis* (riche en gallotanins et en acide gallique), de pentagalloylglucose ou encore d'un mélange de TH de poids moléculaires moyens et élevés (Chen et al., 2006; Verhelst et al., 2010). En outre, certains tanins et flavan-3-ols spécifiques ont montré qu'ils inhibaient les canaux ioniques impliqués dans la pathogénicité des ETEC. Deux flavan-3-ols contenus dans thé vert (*Camellia sinensis*), l'épigallocatechine-gallate et l'épicatéchine-gallate, ainsi que l'acide tannique (un mélange de gallotanins) réduisent la sécrétion intestinale de Cl⁻ en inhibant les canaux Cl⁻ activés par le calcium (Namkung

et al., 2010). De même, les propriétés anti-sécrétoires des fèves de cacao pourraient s'expliquer par leur teneur en procyanidines, ces dernières étant capables de bloquer partiellement le CFTR dans une lignée cellulaire du côlon humain (Schuier et al.; 2005).

Modification du microbiote commensal et réduction de la diarrhée coliforme

Dans de nombreuses études *in vitro*, les tanins ont eu un effet négatif sur la croissance des bactéries pathogènes mais n'ont pas d'effets voire des effets positifs sur la croissance des bactéries commensales. Les ellagitannins (tellimagrandins II, rugosin D) des pétales de *Rosa rugosa* ou les gallotanins des noyaux de *Mangifera indica* L. (mangue) ont eu des effets antibactériens contre *E. coli*, *S. aureus* et *Bacillus* sp., mais ils ont eu peu ou pas d'effet contre les bactéries lactiques probiotiques, telles que *Bifidobacterium* spp. ou *Lactobacillus* spp. (Kamijo et al., 2008; Engels et al., 2009). Les effets *in vitro* des tanins sur les bactéries peuvent être transposés *in vivo* sur le microbiote intestinal. Les tanins modifient le microbiote des porcelets. Au sevrage, Biagi et al. (2010) ont montré qu'une supplémentation d'un mois avec des TH provenant du bois de châtaignier avait tendance à augmenter le nombre de *Lactobacilles* viables dans le jéjunum mais pas dans le cæcum. De même, l'inclusion de 20 g/kg d'un extrait de gallotanins et d'ellagitannins issus du bois de châtaignier dans l'alimentation de porcelets a diminué l'abondance relative d'ETEC F4 et de certains *Clostridium* spp. dans le jéjunum sans diminuer l'abondance de *Lactobacillus* spp. (Girard et al., 2019). Enfin, autour du sevrage, il a été constaté que les tanins affectaient positivement le microbiote des porcelets infectés artificiellement par ETEC. L'inclusion d'un extrait TC de pépins de raisin (10 g/kg dans l'alimentation) et de canneberges (10 g/kg dans l'alimentation + 1 g/l dans l'eau) dans leurs rations a significativement diminué les ETEC F4 et les *E. coli* F18vérotoxiques., respectivement, et a diminué l'incidence des diarrhées (Verhelst et al., 2014; Coddens et al., 2017). Une plus faible excrétion d'ETEC F4, un gain journalier supérieur de 40 g/jour et une diminution marquée du nombre de porcelets atteints de diarrhée ont également été constatés lorsque les porcelets ont été nourris avec aliment de post-sevrage contenant 20 g/kg de TH provenant de bois de châtaignier (Girard, Hu et al., 2020).

Quels facteurs affectent la bioactivité des tanins ?

Facteurs liés à la bactérie

L'espèce bactérienne ciblée est un facteur important. Comme mentionné précédemment, la croissance de certaines bactéries pathogènes peut être compromise par les tanins alors que certaines bactéries lactiques probiotiques semblent moins affectées. Des différences de métabolisme entre les bactéries lactiques et les autres bactéries peuvent en être l'explication. Le métabolisme de certaines bactéries probiotiques des genres *Bifidobacterium* et *Lactobacillus*, contrairement à celui d'autres bactéries,

n'utilise pas d'enzymes associées à un groupe hème. Par conséquent, ces bactéries lactiques ne sont donc pas sensibles à la chélation ionique induite par les tanins. Certains auteurs ont rapporté que les bactéries à Gram positif étaient plus sensibles aux tanins que les bactéries à Gram négatif (Taguri et al., 2004; Min et al., 2008). Un autre facteur non négligeable est la concentration en bactéries. Par exemple, Graziani et al. (2006) ont constaté que la croissance de $1,8 \times 10^6$ cfu/ml d'*E. coli* était inhibée en utilisant 1,5 g/kg de TH provenant d'un extrait de bois de châtaignier, mais aucune inhibition n'a été observée pour $1,2 \times 10^9$ cfu/ml de la même souche à 2,5 g/kg de ce même extrait. Enfin, l'efficacité des tanins sur les bactéries dépend également de l'interaction avec d'autres composés et des conditions physico-chimiques, comme le pH. Par exemple, l'inhibition de la fixation de LT sur son récepteur GM1 induite par les tanins est perdue lorsque de l'albumine de sérum bovin est incluse, probablement parce que les tanins se lient à l'albumine de sérum bovin (Verhelst et al., 2010). Il a aussi été reporté que les TC avaient une plus grande affinité pour la gélatine que pour l'albumine de sérum bovin (Ropiak et al., 2017). Des profils différents en acides aminés peuvent expliquer ces différences car les TC ont une forte affinité pour les protéines riches en proline, comme la gélatine (Hagerman et Butler, 1981). Les mêmes auteurs ont montré que l'interaction maximale entre les TC et les protéines se produit lorsque le pH est proche du pH isoélectrique de la protéine. Cela signifie qu'une meilleure affinité pour les TC se produit à pH 4,9 pour les protéines globulaires dont le point isoélectrique est acide, alors qu'à pH 7,8, ce sont les protéines basiques qui ont une plus grande affinité pour les TC.

Dose, type et structure chimique des tanins

Indubitablement, la teneur en tanins dans le milieu ou dans l'aliment est un point important à considérer. Plusieurs études ont démontré un effet dose-dépendant des TC de québracho, des TH de châtaignier et des gallotanins de *Galla Chinensis* (Chen et al., 2006; Elizondo et al., 2010). Cette teneur en tannins, qui dépend également du type (TC ou TH) et de la structure chimique, devrait être suffisante pour affecter les pathogènes sans avoir d'effets toxiques sur l'animal. Elizondo et al. (2010) ont constaté que 8 mg/ml de TH provenant de bois de châtaignier avaient de fortes propriétés bactéricides, alors que 7,5 mg/ml de TC de quebracho n'avaient aucun effet. La polarité du tanin impacte aussi sa bioactivité. Par exemple, à concentration similaire, le pentagalloylglucose non polaire désordonne les bicouches lipidiques contrairement à un trimère de catéchines (TC) très polaire (Yu et al., 2011). Le dernier facteur modifiant l'interaction entre les tanins et les autres molécules est lié à la structure chimique des tanins. Une molécule de tanin est caractérisée par un certain poids moléculaire (taille) et différents groupes chimiques. La taille de la molécule est donnée par le degré de polymérisation pour les TC, le degré de galloylation pour les gallotanins et le degré d'oligomérisation pour les ella-

gitanins. Yao et al. (2006) ont confirmé l'importance du poids moléculaire en lien avec l'activité biologique (interaction avec les protéines, inhibition des enzymes et pouvoir antimicrobien) en comparant différentes fractions de TC d'acacia noir (*Acacia mearnsii*). Les poids moléculaires moyens des extraits aqueux, d'acétate d'éthyle et d'éther étaient respectivement de 2050, 980 et 440 Da. Les auteurs ont constaté que la fraction aqueuse contenant les poids moléculaires élevés avait la plus forte capacité d'interaction avec les protéines, tandis que l'extrait obtenu avec l'éther contenant des poids moléculaires plus faibles avait un meilleur pouvoir antibactérien. L'extrait obtenu avec l'acétate d'éthyle contenant les poids moléculaires moyens, présentait à la fois une forte capacité à inhiber l'activité enzymatique et de fortes propriétés antibactériennes. Baert et al. (2016) ont également démontré une diminution de la production de gaz proportionnelle au degré d'oligomérisation des ellagitanins de tellimagrandine I isolés des fleurs d'Épilobe en épi (*Epilobium angustifolium*).

De plus, chaque plante a une composition chimique unique, c'est-à-dire un nombre variable de groupes hydroxyles et phénols (pour les TC) ou de groupes galloyles et HHDP (pour les TH), qui modifient les propriétés de liaison des tanins. Par exemple, les prodelphinidines ont plus de groupes hydroxyles que les procyanidines, ce qui indique généralement une plus grande réactivité vis-à-vis des protéines. Deville et al. (2007) ont démontré que les gallotanins et le pentagalloylglucose se lient avec la même force à la gélatine et à la BSA, alors que les ellagitanins moins flexibles se lient plus fortement aux protéines flexibles comme la gélatine, et faiblement à la BSA.

Quel est le "meilleur" tanin pour réduire les DPS ?

En raison de la grande diversité des tanins, il est très difficile de conclure lesquels sont les plus prometteurs pour réduire le développement des DPS dues à ETEC, car il a été démontré que les deux types de tanins, TC et TH, altéraient la pathogénicité d'ETEC. Les résultats susmentionnés ont démontré que des différences de structure chimique conduisent à différentes propriétés, qui à leur tour modifient les affinités pour les protéines et les lipides. En outre, les extraits commerciaux utilisés dans les expériences *in vivo* contiennent un mélange de tanins et, très souvent, la composition chimique détaillée des tannins n'est pas indiquée. Trouver un type de tanin ou une combinaison de tanins qui affecterait, en même temps, la croissance bactérienne, l'attachement des bactéries à la muqueuse et les activités des entérotoxines représente un défi. Cependant, certains gallotanins et dérivés de l'acide gallique, comme le pentagalloylglucose, pourraient être des candidats prometteurs. Le pentagalloylglucose de poids moyen (940 Da) est à la fois capable de perturber les membranes lipidiques mais aussi d'interagir fortement avec différentes protéines.

Conclusion

Les tanins offrent un grand potentiel pour la prévention des infections microbiennes et la réduction des DPS dues à ETEC. Ils agissent directement sur les bactéries pathogènes pour inhiber ou ralentir leur croissance en empêchant leur adhésion sur l'épithélium intestinal et en inhibant leurs entérotoxines ainsi que les canaux ioniques impliqués dans la sécrétion d'électrolytes et d'eau dans le lumen. Il semble également que certains d'entre eux aient des effets prébiotiques dans l'intestin. Un autre effet, qui n'a pas été discuté ici mais qui pourrait aider les porcelets à faire face aux DPS, est l'effet antioxydant et anti-inflammatoire de certains tanins. Par conséquent, les tanins peuvent contrer la dysbiose intestinale qui se produit au sevrage, favorisant et participant au maintien d'une santé intestinale optimale. Cependant, plusieurs questions subsistent et doivent être approfondies, telles que la détermination des combinaisons optimales de tanins et la manière la plus appropriée et la plus rentable de les administrer. La possibilité pour les bactéries de développer des résistances aux tanins devrait également être étudiée, ainsi que la manière dont ce risque pourrait être minimisé. Enfin, la question de savoir si et quels tanins et/ou leurs métabolites restent actifs dans l'intestin mérite d'être approfondie.

Cette revue est extraite de : Girard, M. et Bee, G. (2020): Invited review: Tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. *Animal* **14**:95-107.

Références

- Al-Zoreky, N.S. (2009): Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *Int. J. Food Microbiol.* **134**: 244-248
- Baert, N., Pellikaan, W.F., Karonen, M. and Salminen, J.P. (2016): A study of the structure-activity relationship of oligomeric ellagitannins on ruminal fermentation *in vitro*. *J. Dairy Sci.* **99**: 8041-8052
- Bakkiyaraj, D., Nandhini, J.R., Malathy, B. and Pandian, S.K. (2013): The anti-biofilm potential of pomegranate (*Punica granatum* L.) extract against human bacterial and fungal pathogens. *Biofouling* **29**: 929-937
- Bernhoft, A. (2010): A brief review on bioactive compounds in plants. In *Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals* (Bernhoft, A., eds.). The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, Norway: p 11-17
- Biagi, G., Cipollini, I., Paulicks, B.R. and Roth, F.X. (2010): Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.* **64**: 121-135
- Braga, L.C., Shupp, J.W., Cummings, C., Jett, M., Takahashi, J.A., Carmo, L.S., Chartone-Souza, E. and Nascimento, A.M.A. (2005): Pomegranate extract inhibits *Staphylococcus aureus* growth and subsequent enterotoxin production. *J. Ethnopharmacol.* **96**: 335-339
- Brand, P., Gobeli, S. and Perreten, V. (2017): Pathotyping and antibiotic resistance of porcine enterovirulent *Escherichia coli* strains from Switzerland (2014–2015). *Schweiz. Arch. Tierh.* **159**: 373-380

- Chen, J.C., Ho, T.Y., Chang, Y.S., Wu, S.L. and Hsiang, C.Y. (2006): Anti-diarrheal effect of *Galla chinensis* on the *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin and ganglioside interaction. *J. Ethnopharmacol.* **103**: 385-391
- Chung, K. T., Z. Lu, and Chou, M. W. (1998): Mechanism of inhibition of tannic acid and related compounds on the growth of intestinal bacteria. *Food Chem. Toxicol.* **36**:1053-1060
- Coddens, A., Loos, M., Vanrompay, D., Remon, J.P. and Cox, E. (2017): Cranberry extract inhibits *in vitro* adhesion of F4 and F18+ *Escherichia coli* to pig intestinal epithelium and reduces *in vivo* excretion of pigs orally challenged with F18+ verotoxigenic *E. coli*. *Vet. Microbiol.* **202**: 64-71
- Deaville, E.R., Green, R.J., Mueller-Harvey, I., Willoughby, I. and Frazier, R.A. (2007): Hydrolyzable tannin structures influence relative globular and random coil protein binding strengths. *J. Agr. Food Chem.* **55**: 4554-4561
- Dubreuil, J.D., Isaacson, R.E. and Schifferli, D.M. (2016): Animal Enterotoxigenic *Escherichia coli*. EcoSal Plus 7, <https://doi.org/10.1128/ecosalplus.ESP-0006-2016>
- Elizondo, A.M., Mercado, E.C., Rabinovitz, B.C. and Fernandez-Miyakawa, M.E. (2010): Effect of tannins on the *in vitro* growth of *Clostridium perfringens*. *Vet. Microbiol.* **145**: 308-314
- Engels, C., Knödler, M., Zhao, Y.Y., Carle, R., Gänzle, M.G. and Schieber, A. (2009): Antimicrobial activity of gallotannins isolated from Mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *J. Agr. Food Chem.* **57**: 7712-7718
- Espín, J.C., Gonzalez-Barrio, R., Cerda, B., Lopez-Bote, C., Rey, A.I. and Tomas-Barberan, F.A. (2007): Iberian pig as a model to clarify obscure points in the bioavailability and metabolism of ellagitannins in humans. *J. Agr. Food Chem.* **55**: 10476-10485
- European Medicines Agency (2018): Sales of veterinary antimicrobial agents in 30 European countries in 2016: trends from 2010 to 2016 In: *Eighth European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption (ESVAC) report*. Retrieved on 17 July 2019 from https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/salesveterinary-antimicrobial-agents-30-european-countries-2016-trends-2010-2016-eighth-esvac_en.pdf
- Fairbrother, J.M., Nadeau, E. and Gyles, C.L. (2005): *Escherichia coli* in postweaning diarrhea in pigs: an update on bacterial types, pathogenesis, and prevention strategies. *Anim. Health Res. Rev.* **6**: 17-39
- Girard, M., D. Hu, N. Pradervand, S. Neuenschwander, and Bee, G. (2020): Chestnut extract but not sodium salicylate decreases the severity of diarrhea and enterotoxigenic *Escherichia coli* F4 shedding in artificially infected piglets. *PloS one* **15**: e0214267-e0214267
- Girard, M., Pradervand, N., Silacci, P. and Bee, G. (2019): L'extrait de châtaignier réduit les diarrhées de post-sevrage et modifie la population bactérienne du jéjunum. In *Proceedings of the 51st Journées de la recherche porcine* (Institut du Porc eds), Paris, France, p. 101-102
- Graziani, R., Tosi, G. and Denti, R. (2006): *In vitro* antimicrobial activity of SILVA FEED ENC® on bacterial strains of poultry origin. In *Proceedings of the 12th European Poultry Conference* (World's Poultry Science Association), Verona, Italy, p. 328

Hartmann, S. (2016): Antibiotikaeinsatz und Tierbehandlungsindex in Schweizer Ferkelerzeugungsbetrieben. Doctoral thesis, Vetsuisse-Faculty Zurich University, Zurich, Switzerland.

Hagerman, A.E. and Butler, L.G. (1981): The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. *J. Biol. Chem.* **256**: 4494-4497

Hancock, V., Dahl, M. and Klemm, P. (2010): Probiotic *Escherichia coli* strain Nissle 1917 outcompetes intestinal pathogens during biofilm formation. *J. Med. Microbiol.* **59**: 392-399

Heo, J.M., Opapeju, F.O., Pluske, J.R., Kim, J.C., Hampson, D.J. and Nyachoti, C.M. (2013): Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *J. Anim. Physiol. An N.* **97**: 207-237

Jakobek, L. (2015): Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chem.* **175**: 556-567

Jelager, L., Gurib-Fakim, A. and Adsersen, A. (1998): Antibacterial and antifungal activity of medicinal plants of Mauritius. *Pharm. Biol.* **36**: 153-161

Kamijo, M., Kanazawa, T., Funaki, M., Nishizawa, M. and Yamagishi, T. (2008): Effects of *Rosa rugosa* petals on intestinal bacteria. *Biosci. Biotech. Bioch.* **72**: 773-777

Luppi, A., Gibellini, M., Gin, T., Vangroenweghe, F., Vandenbroucke, V., Bauerfeind, R., Bonilauri, P., Labarque, G. and Hidalgo, Á. (2016): Prevalence of virulence factors in enterotoxigenic *Escherichia coli* isolated from pigs with post-weaning diarrhea in Europe. *Porcine Health Management* **2**: 20

Mena, P., Bresciani, L., Brindani, N., Ludwig, I.A., Pereira-Caro, G., Angelino, D., Llorach, R., Calani, L., Brighenti, F., Clifford, M.N., Gill, C.I.R., Crozier, A., Curti, C. and Del Rio, D. (2019): Phenyl- γ valerolactones and phenylvaleric acids, the main colonic metabolites of flavan-3-ols: synthesis, analysis, bioavailability, and bioactivity. *Nat. Prod. Rep.* **36**: 714-752

Min, B.R., Pinchak, W.E., Merkel, R., Walker, S., Tomita, G. and Anderson, R.C. (2008): Comparative antimicrobial activity of tannin extract from perennial plants on mastitis pathogens. *Sci. Res. Essays* **3**: 66-73

Namkung, W., Thiagarajah, J.R., Phuan, P.W. and Verkman, A.S. (2010): Inhibition of Ca²⁺-activated Cl⁻ channels by gallotannins as a possible molecular basis for health benefits of red wine and green tea. *FASEB J.* **24**: 4178-4186

Oladoja, N.A., Alliu, Y.B., Ofomaja, A.E. and Unuabonah, I.E. (2011): Synchronous attenuation of metal ions and colour in aqua stream using tannin–alum synergy. *Desalination* **271**: 34-40

Ravi, M., Ngeleka, M., Kim, S.H., Gyles, C., Berthiaume, F., Mourez, M., Middleton, D. and Simko, E. (2007): Contribution of AIDA-I to the pathogenicity of a porcine diarrheagenic *Escherichia coli* and to intestinal colonization through biofilm formation in pigs. *Vet. Microbiol.* **120**: 308-319

Ropiak, H.M., Lachmann, P., Ramsay, A., Green, R.J. and Mueller-Harvey, I. (2017): Identification of structural features of condensed tannins that affect protein aggregation. *PloS one* **12**: e0170768

Schuijer, M., Sies, H., Illek, B. and Fischer, H. (2005): Cocoa-related flavonoids inhibit CFTR-mediated chloride transport across T84 human colon epithelia. *J. Nutr.* **135**: 2320-2325

Taguri, T., Tanaka, T. and Kouno, I. (2004): Antimicrobial activity of 10 different plant polyphenols against bacteria causing food-borne disease. *Biol. Pharm. Bull.* **27**: 1965-1969

Verhelst, R., Schroyen, M., Buys, N. and Niewold, T. (2010): The effects of plant polyphenols on enterotoxigenic *Escherichia coli* adhesion and toxin binding. *Livest. Sci.* **133**: 101-103

Verhelst, R., Schroyen, M., Buys, N. and Niewold, T. (2014): Dietary polyphenols reduce diarrhea in enterotoxigenic *Escherichia coli* (EPEC) infected post-weaning piglets. *Livest. Sci.* **160**: 138-140

Yao K, He Q, Ying Jia D and Shi B (2006): The potential of wattle tannin extracts for fine use. *Nat. Prod. Res.* **20**: 271-278

Yu, X., Chu, S., Hagerman, A.E. and Lorigan, G.A. (2011): Probing the interaction of polyphenols with lipid bilayers by solid-state NMR spectroscopy. *J. Agr. Food Chem.* **59**: 6783-6789.

Feed oder Food? Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz in der Milchproduktion

B. Reidy¹, S. Ineichen¹ und T. Nemecek²

¹Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), 3052 Zollikofen, Schweiz

²Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Kontakt: Beat Reidy, beat.reidy@bfh.ch

Einleitung

Den Wiederkäuern kommt im Ernährungssystem eine besondere Rolle zu. Durch die Fähigkeit, für den Menschen nicht direkt verwertbare Nahrungsquellen zu erschliessen und diese in Milch und Fleisch umzuwandeln, erweitern sie die Nahrungsgrundlage des Menschen. Speziell in graslanddominierten Regionen ermöglicht dies, auch Flächen für die Nahrungsmittelproduktion zu nutzen, welche aufgrund klimatischer oder topographischer Bedingungen nicht ackerbaulich nutzbar sind.

Mit der zunehmenden Intensivierung der Tierproduktion werden auch in der Milchviehfütterung Futtermittel eingesetzt, die direkt für die menschliche Ernährung verwendbar wären, oder die auf Flächen produziert werden, die auch direkt für die Produktion von pflanzlichen Nahrungsmitteln genutzt werden könnten. Dadurch entsteht eine Nahrungsmittel- bzw. Flächenkonkurrenz zwischen dem Einsatz bzw. dem Anbau von Futtermitteln für Milchkühe und der menschlichen Ernährung. Vor dem Hintergrund einer weiter wachsenden Weltbevölkerung ist es zentral, die begrenzten landwirtschaftlich nutzbaren Flächen möglichst effizient für die Nahrungsmittelproduktion zu nutzen. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass die Konkurrenz zwischen Mensch und Nutztier objektiv quantifizierbar ist und bei Bedarf gezielt reduziert werden kann.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zwei Indikatoren zur Ermittlung der Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz in der Milchproduktion zu entwickeln und diese auf ihre Anwendbarkeit auf Milchproduktionsbetrieben in der Schweiz zu testen.

Konzept der Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz

Zur Quantifizierung der Konkurrenz zwischen Mensch und Nutztier gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Konzepte. Der Ansatz der «Nahrungsmittelkonkurrenz» berücksichtigt die in der Fütterung eingesetzten Futtermittel und deren direktes Nutzungspotenzial in der menschlichen Ernährung. Basierend auf Ertl et al. (2016a) beschreibt der Indikator «Nahrungsmittelkonkurrenz» das Ver-

hältnis von potenziell menschlich verwertbaren Futtermitteln, die zur Produktion tierischer Erzeugnisse eingesetzt werden, zu den für den Menschen verwertbaren produzierten tierischen Produkten (Milch und Fleisch).

Der Indikator «Flächenkonkurrenz» fokussiert auf die Landnutzung und beschreibt das Potenzial der Produktion von pflanzlichen Nahrungsmitteln auf der genutzten Futterfläche, im Verhältnis zu den tierischen Erzeugnissen (Milch und Fleisch, Van Zanten et al. 2016).

$$\text{Nahrungsmittelkonkurrenz} = \frac{\text{Menschlich verwertbare Futtermittel}}{\text{Menschlich verwertbare tierische Produkte}}$$

$$\text{Flächenkonkurrenz} = \frac{\text{Pflanzliches Produktionspotential auf der Futterfläche}}{\text{Menschlich verwertbare tierische Produkte}}$$

Die Indikatoren stellen jeweils den Quotienten zwischen dem menschlich verwertbaren Nährwert in den Futtermitteln/in der pflanzlichen Produktion und dem verwertbaren Nährwert der tierischen Produkte (Milch und Fleisch) dar. Ein Wert des Quotienten >1 bedeutet, dass dem jeweiligen Produktionssystem mehr direkt für den Menschen verwertbare Nährstoffe zugeführt werden, als Nahrungsmittel produziert werden. Eine Bewertung der Konkurrenz kann sowohl auf Basis der Energie als auch auf Protein durchgeführt werden. In den hier dargestellten Ausführungen wurde als Basis Protein gewählt, da die Milchproduktion für die menschliche Ernährung hier einen wesentlichen Beitrag leisten kann.

Anwendung der Indikatoren auf Praxisbetrieben

Um die Eignung beider Indikatoren in der Praxis zu überprüfen wurden sie auf 25 Milchviehbetrieben in der Schweiz angewandt. Die beteiligten Milchproduktionsbetriebe liegen im Schweizer Mittelland und Voralpengebiet in unterschiedlichen Produktionszonen. Sie wiesen eine durchschnittliche Milchleistung von 7'545 ($\pm 1'598$) kg ECM/Kuh/Jahr auf. Der Kraftfuttereinsatz lag bei 108 (± 73) g/kg ECM, wobei alle Futtermittel mit einem Rohfasergehalt von weniger als 12 % als Kraftfuttermittel bezeichnet wurden. Als Systemgrenze galt der Milchproduktionsbetrieb mit den zur Remontierung des Milchviehbestandes notwendigen Jungtieren. Überzählige Tränkekälber und abgehende Schlachtkühe wurden als Fleischoutput berücksichtigt. Die Futterrationen der Milchkühe wurden mittels Betriebsbesuchen erfragt und durch eine Gegenüberstellung von verfütterter Energie und Herdenbedarf plausibilisiert (Cutullic et al., 2012). Allen Futtermitteln sowie den tierischen Erzeugnissen (Milch und Fleisch) wurde ein Wert für die Verwertbarkeit in der Humanernährung zugeteilt. Dies unter der Annahme, dass bestehende Ernährungsgewohnheiten und technologische Verfahren in der Aufbereitung von Nahrungsmitteln bestehen bleiben (Szenario «Current» bei Ertl et al. (2016b)).

Zur Ermittlung des pflanzlichen Produktionspotentials wurden die betriebseigenen Flächen erfasst und deren Ackerfähigkeit anhand der Kriterien zur Ertragswertschätzung (BLW, 2018) sowie deren Klimateignung (Holzkämper et al., 2015) ermittelt. Für die zugeführten Futtermittel wurden Annahmen über die klimatische und ackerbauliche Eignung am Herkunftsstandort getroffen. Das Flächenproduktionspotential wurde mittels nach Energie bzw. Protein optimierten und auf das Klima angepassten Fruchtfolgen unter Berücksichtigung der ÖLN-Vorgaben berechnet. Um der höheren biologischen Wertigkeit tierischer Proteine Rechnung zu tragen, wurde die Proteinqualität gemäss der Methode DIAAS berücksichtigt (FAO, 2013).

Ergebnisse und Diskussion

Sämtliche untersuchten Betriebe produzierten mehr für den Menschen verwertbares tierisches Protein als dafür im Futter eingesetzt wurde (Abbildung 1, schwarze Balken). Der Indikatorwert für Nahrungsmittelkonkurrenz auf Basis Protein lag im Mittel der Betriebe bei 0.17, mit Minimal bzw. Maximalwerten von 0.01 und 0.54. Für Betriebe, die kein oder nur wenig Kraftfutter einsetzten, ergaben sich Werte nahe Null. Betriebe, die trotz bedeutenden Kraftfutteranteilen niedrige Indikatorwerte aufweisen, setzten vermehrt Koppelprodukte aus der Futter- und Nahrungsmittelproduktion ein, wie Rapsextraktionsschrot, Futterkartoffeln oder Biertreber. Futtermittel also, die im Rahmen des verwendeten Ernährungsszenarios als für den Menschen kaum verwertbar galten.

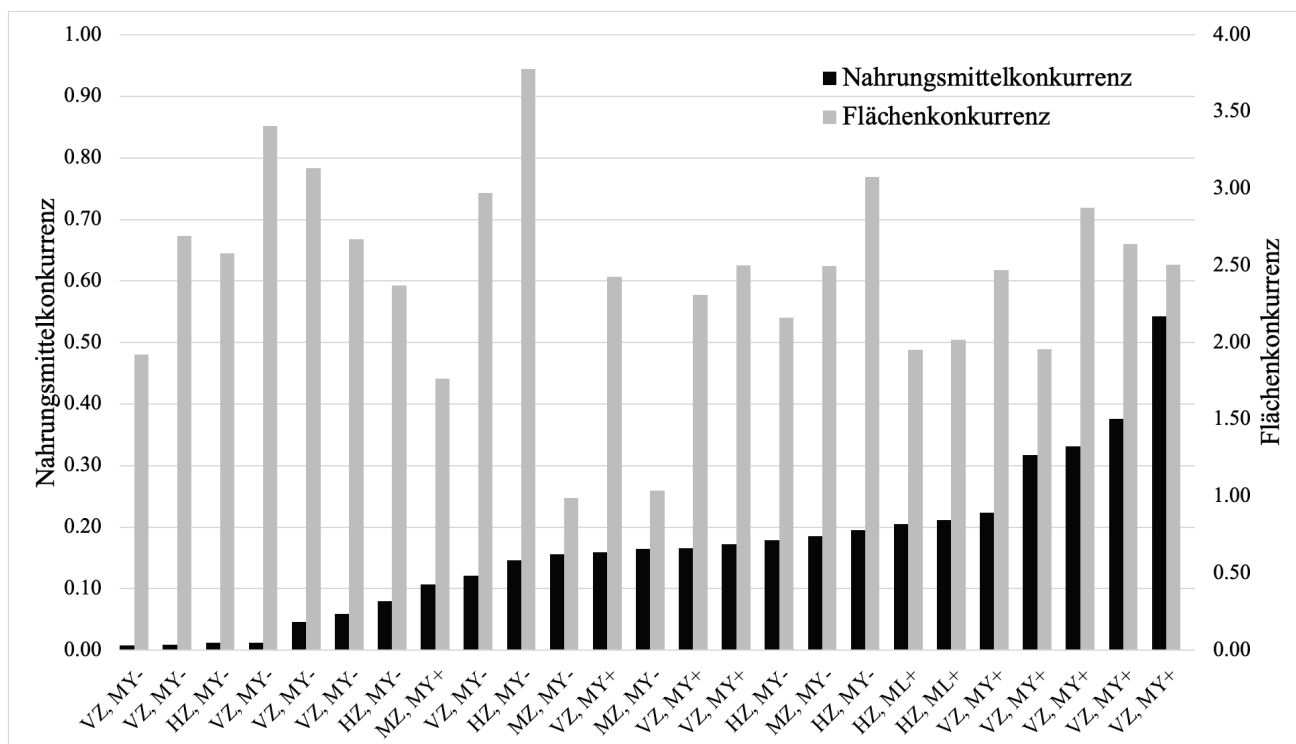


Abbildung 1. Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz der untersuchten Milchviehbetriebe auf Basis des verfütterten bzw. des produzierten Protein (qualitätskorrigiert nach DIAAS). VZ=Talzone, HZ = Hügelzone, MZ= Bergzone. MY-= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MY+= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a.

In Bezug auf die Flächenkonkurrenz ergab sich ein deutlich anderes Bild. Im Mittel der Betriebe fiel der Indikatorwert für die Flächenkonkurrenz mit 2.43 und einem Streubereich von 0.99 bis 3.78, deutlich höher aus als für die Nahrungsmittelkonkurrenz. Nur zwei Betriebe wiesen Werte < 1 auf. In der deutlichen Mehrzahl der Fälle würde somit ein Anbau von direkt für den Menschen verwertbaren pflanzlichen Nahrungsmitteln mehr zur menschlichen Proteinversorgung beitragen, als die Milchproduktion mit Futtermitteln von den betroffenen Flächen. Entscheidend für die Flächenkonkurrenz eines Betriebs ist der Anteil der ackerfähigen Fläche. Dies gilt insbesondere für die betriebs-eigenen Flächen, da diese in den meisten Fällen den grössten Anteil der benötigten Futterflächen ausmachten. Die zwei Betriebe mit den niedrigsten Indikatorwerten für die Flächenkonkurrenz liegen in der Bergzone; deren Betriebsfläche galt zu 100% als ungeeignet für Ackerbau. Neben dem Flächenbedarf pro produzierter Einheit Milch spielen die Qualität der eingesetzten Flächen (Ackerfähigkeit) sowie die Effizienz der Milchproduktion (Futtermittelverwertung, Remontierungsrate) eine erhebliche Rolle für die Flächenkonkurrenz.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächenkonkurrenz zwischen der Milchproduktion und der ackerbaulichen Nutzung zur direkten menschlichen Ernährung auf allen untersuchten Betrieben grösser ist als die Nahrungsmittelkonkurrenz. Beide Indikatoren beschreiben die gleiche Thematik mit einem unterschiedlichen Fokus. Auf den untersuchten Betrieben korrelieren die Indikatoren nicht miteinander. Die Kombination beider Indikatoren hilft deshalb, die Konkurrenz zwischen Mensch und Nutztier umfassend und objektiv zu beurteilen. Mit den beiden Indikatoren lässt sich die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz in der Milchproduktion praxistauglich ermitteln. Im Rahmen der ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung von Milchproduktionssystemen stellen sie deshalb eine wichtige Ergänzung dar.

Literatur

BLW (2018): Anleitung für die Schätzung des landwirtschaftlichen Ertragswertes. Anhang zur Verordnung über das bäuerliche Bodenrecht (VBB) vom 4. Oktober 1993. 1. April 2018

Cutullic, E., Chevalley, S., Thomet, P. und Piccand, V. (2012): Etat des lieux sur l'affouragement des vaches laitières. Enquêtes sur les exploitations en lait de centrale de Prolait, unveröffentlicht. Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires, Zollikofen, 38 S.

Ertl, P., Knaus, W., Zollitsch, W. (2016a): An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. *animal* **10**:1883-1889

Ertl, P., Steinwidder, A., Schönauer, M., Krimberger, K., Knaus, W., Zollitsch, W. (2016b): Net food production of different livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. *Bodenkultur* **67**:91-103

FAO (2013): Dietary protein quality evaluation in human nutrition. In: FAO Food and Nutrition Paper 92

Holzkämper, A., Fossati D., Hiltbrunner J., Fuhrer J. (2015): Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland. *Reg Environ Change* **15**:109-122

van Zanten, H.H.E., Mollenhorst, H., Klootwijk, C., van Middelaar, C., de Boer, I., (2016): Global food security: Land use efficiency of livestock systems. *International Journal of Life Cycle Assessment* **21**:747-758.

Neuste Daten zur Zinkversorgung bei monogastrischen Nutztieren

D. Brugger

Institut für Tierernährung, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz

Kontakt: Daniel Brugger, dbrugger@nutrivet.uzh.ch

Die Rolle von Zink im tierischen Organismus

Zink nimmt unter den essenziellen Übergangsmetallen eine Sonderstellung ein. Anders als die Vertreter Fe, Cu und Mn, zirkuliert es nur in einem Oxidationszustand (Zn^{2+}) in der Biosphäre, hat also für sich keinerlei Redoxaktivität (Maret, 2019). Demgegenüber können Fe, Cu und Mn direkt an oxidativen Reaktionen mitwirken in deren Folge reaktive Sauerstoffspezies gebildet werden. Dies erklärt, weshalb Fe, Cu und Mn an vergleichsweise spezifischen Körperfunktionen beteiligt sind die überwiegend Funktionen im Redox- und Energiestoffwechsel umfassen (Suttle, 2010). Demgegenüber ist Zink im körpereigenen Proteom viel weiter verbreitet. In der Tat codieren bei Säugetieren etwa 10% des Genoms für Zinkproteine was nahelegt, dass etwa ein Drittel des körpereigenen Proteoms zinkabhängig ist. Die Zinkproteine sind an sehr grundlegenden zellulären Prozessen beteiligt, wie die Replikation, Transkription und Reparatur der DNA. Nicht unerwähnt dürfen auch die vielen zinkabhängigen Enzyme bleiben, zu denen unter anderem sehr prominente Vertreter wie die alkalischen Phosphatasen und die Carboxypeptidasen zählen (Undreini et al., 2006).

Um die Funktion des Stoffwechsels aufrechtzuerhalten, muss der Organismus Fluktuationen in der Zinkversorgung bestmöglich puffern. Dies bedeutet in Mangelzeiten, die Verweildauer des Zn hinter der Darmschranke zu erhöhen indem die körpereigenen Verluste insbesondere in den Magendarmtrakt weitestmöglich reduziert werden. Gleichzeitig kann der Organismus auf eine Mobilisierung von Zink aus den Skelettreserven zurückgreifen und im Bedarfsfall auch Anteile aus bestimmten Körperkompartimenten zugunsten von Geweben mit akuter Relevanz für das Überleben des Organismus umverteilen. Im Umkehrschluss muss einer alimentären Überversorgung und damit einhergehende Intoxikation durch eine Herabregulierung der Absorption aus dem Magendarmtrakt und der effizienten Bindung und Exkretion von überschüssigem Zink hinter der Darmschranke begegnet werden (Brugger und Windisch, 2019b). Diese Anpassung der Zinkflüsse im Organismus entspringt einem komplexen Regulationsgeflecht zellulärer Parameter an deren Ende die Regulation von Zinktransportproteinen an biologischen Membranen steht (Lichten und Cousins, 2009).

Praktische Relevanz von Zinkmangel bei Schwein und Geflügel

Nichtwiederkäuer sind grundsätzlich anfälliger für Zinkmangel, da sie überwiegend auf Basis von Getreide und Extraktionsschroten gefüttert werden, die hohe Anteile an Phytinsäure aufweisen. Entsprechend der klassischen Lehrmeinung dissoziiert die Phytinsäure unter den sauren Bedingungen im Magen um anschließend, im neutralen Dünndarmlumen, Chelate mit divalenten Kationen einzugehen (Suttle, 2010). In Abhängigkeit der gebundenen Kationen können dabei beinahe kristalline Phytate entstehen, die für die körpereigenen Phosphatasen nicht zugänglich sind und teils sogar von den exogenen Phytasezusätzen nicht aufgeschlossen werden können (Humer et al., 2015). Im Ergebnis sind der im Phytat gebundene Phosphor und die damit assoziierten Kationen (z.B. Zn) für das Tier nicht verfügbar. Wenngleich dieser Sachverhalt beim Schwein so voll zutrifft (insbesondere beim Absetzferkel) (Brugger et al., 2014) hat die Forschung in den vergangenen 20 Jahren aber klare Unterschiede zum Huhn aufgezeigt. Insbesondere Mastgeflügel scheint durchaus relevante Kapazitäten zur Verwertung von Phytaten entlang des Magen-Darm-Kanals zu haben. In der Tat zeigen präzise Stoffwechselversuche an gnotobiotischen Broilern sowie Wildtypen, dass der Hühnervogel generell eine körpereigene, mukosale Phytaseaktivität aufweisen muss. Im Wildtyp steigt diese Aktivität bedingt durch die zusätzliche Verdauungsleistung der Mikrobiota. Dementsprechend ist ein Ross 308 Broiler unter praktischen Fütterungsbedingungen in der Lage, signifikante Anteile des nativen Phosphors zu verwerten (Zeller et al., 2015, Sommerfeld et al., 2019). Daraus resultiert mutmasslich auch eine geringere Anfälligkeit für phytatinduzierte Ungleichgewichte in der Futterzinkversorgung.

Der erste Bericht zu Zinkmangel im Schwein legt eindrücklich die Schwere der Ausfallerscheinungen nahe, wenn die Defizienz ein klinisches Niveau erreicht. Die Autoren berichteten von Wachstumsdepression, Diarrhö, Gewebnekrosen und Anorexie um nur einige der Symptome zu nennen (Tucker und Salmon, 1955). Ein ähnlicher Symptomkomplex wurde auch bei Hühnern beobachtet (O'Dell und Savage, 1977). Ein derart ausgeprägter Zinkmangel ist unter praktischen Haltungsbedingungen aber nicht zu erwarten, denn es ist gängige Praxis Nutztierrationen mit Zinkverbindungen zu ergänzen. Bei Schwein und Huhn werden die Zinkgehalte in den Rationen in der Regel auf mindestens 100 mg/kg angehoben, was dem 2-2.5fachen des Bruttobedarfs entspricht (National Research Council, 1994, 2012). Zudem ist zumindest in den konventionellen Haltungssystemen der Einsatz hocheffizienter Phytasezusätze in Anteilen ≥ 500 FTU/kg Futter Gegenstand guter fachlichen Praxis (Humer et al., 2015).

Ganz anders dürfte die Situation zum subklinischen Zinkmangel aussehen, der im Rahmen kurzfristiger Fluktuationen in der Versorgung entstehen kann. Solche Fluktuationen können auf Mischun-

genauigkeiten in den Rationen zurückgehen aber auch auf kurzfristige Veränderungen im Futteraufnahmeverhalten (z.B. stressbedingter Einbruch in der Futteraufnahme) oder einem kurzfristig erhöhten Zinkbedarf (z.B. höhere Aktivität von Stress- und Immunstoffwechsel) (Brugger und Windisch, 2019b). Bedingt durch Schwierigkeiten hinsichtlich der Diagnostik ist zur Verbreitung des subklinischen Zinkmangels in praktischen Tierhaltungen derzeit jedoch nichts Genaues bekannt.

Bisherige Erkenntnisse zum subklinischen Zinkmangel im Absetzferkel

Die Bedeutung des subklinischen Zinkmangels für das Absetzferkel wird deutlich durch die Studie von Davin et al. (2013), die sehr eindrücklich den reduzierten Zinkstatus in den ersten Tagen nach dem Absetzen aufzeigte. Dies scheint im Wesentlichen auf die eingeschränkte Futteraufnahme in den ersten 1-3 Tagen nach dem Absetzen zurückzuführen zu sein. Tatsächlich passt der Zeitverlauf dieser Anpassung sehr gut mit Basisdaten zur Anpassung des Zinkstoffwechsels im Säuger zusammen. Wir haben seinerzeit versucht, einen kurzfristigen Zinkmangel in einem Stoffwechsexperiment an Absetzferkeln zu simulieren. Das experimentelle Modell wurde im Detail von Brugger et al. (2014) beschrieben. Die mit diesem Ansatz bisher gewonnenen Erkenntnisse legen nahe, dass Absetzferkel in der Tat nicht in der Lage sind, den nativen Zinkgehalt phytatreicher Futterkomponenten (in vorliegendem Fall Körnermais, Sojaschrot, Weizenkleie) zu verwerten. Tatsächlich war die scheinbare Absorption des Futterzinks ohne Zinkergänzung negativ was nahelegt, dass die Tiere während der acht-tägigen Versuchsphase mehr Zink über den Kot verloren haben als sie über das Futter aufnahmen. Die Folge war eine Reduktion der Knochenzinkbestände um 25%. Gleichzeitig verteilt die Leber und andere Körperkompartimente wie Darm, Epidermis und Niere ihre Zinkspeicher auf andere Gewebe, die für das akute Überleben des Organismus besonders wichtig sind, insbesondere die mesenterialen Lymphknoten, den Thymus, den Skelettmuskel und das Herz (Brugger und Windisch, 2019). Weiterführende Untersuchungen am Herzmuskel legten nahe, dass die Umverteilungen in solchen Geweben im Zusammenhang mit einem erhöhten Zinkbedarf zur Begegnung von Zellstress assoziiert waren (Brugger und Windisch, 2017). Zudem konnte gezeigt werden, dass es unabhängige Regulationspfade der Zinkhomöostase gibt, die einerseits auf die allgemeine Zinkmangelfütterung reagieren, andererseits aber auch von Redox- und Entzündungsvorgängen in verschiedenen Geweben getriggert werden (Brugger et al., 2021). Unter den Bedingungen eines kurzfristigen alimentären Zinkmangels kommt es zudem, im Rahmen der Begrenzung endogener Verluste pankreatischen Zinks in den Verdauungstrakt, zu einer allgemeinen Reduktion der pankreatischen Sekretion von Verdauungsenzymen (Brugger und Windisch, 2016). Der Organismus kommt also in einen Zielkonflikt, indem er bedingt durch die Zinkmangelversorgung zwar die endogenen Verluste begrenzt, gleichzeitig aber

dadurch auch Verdauungskapazität einbüsst wodurch sich das Problem der Zinkmangelversorgung nur verschärft.

Besonders interessant und in krassem Kontext zur klassischen Literatur zum klinischen Zinkmangel war der Befund, dass sich auch durch eine Absenkung des Futterzinkgehaltes von einer bedarfsdeckenden Dosis (90 mg/kg) auf eine undere bedarfsdeckende Dosis (70 mg/kg) eine kurzfristige, signifikante Entleerung der Skelettspeicher erzielen lässt (Brugger et al., 2014). Dieser Sachverhalt lässt sich durch die zeitlich verzögerte Anpassung des Stoffwechsels auf eine Zinkmangelfütterung erklären. Diese Beobachtung legt nahe, dass durch Schwankungen in der Futterzinkkonzentration z.B. bei inhomogener Futtermischung, ein kurzfristiger subklinischer Zinkmangel entstehen kann. Persönliche Berichte aus der Praxis unterstützen diese These und zeigen die dringende Notwendigkeit weiterführender Forschungsarbeit zum Thema auf.

Erste Untersuchungen zum subklinischen Zinkmangel in Legehennen

Entgegen unserer Erwartungen war es vergleichsweise einfach einen subklinischen Zinkmangel in Legehennen zu induzieren (Brugger et al., 2020). Die höhere Empfindlichkeit von Legern und Starterküken wird in einschlägigen Übersichtswerken zwar angesprochen (Suttle, 2010) jedoch bisher kaum mit validen Daten unterfüttert. Im Endeffekt zeigte eine achttägige Zinkmangelfütterung wie auch schon beim Absetzferkel einen reduzierten Zinkstatus in der adulten Legehenne.

Einleitend wurden bereits die Unterschiede zwischen Huhn und Schwein, hinsichtlich der Fähigkeit Phytat in der Diät zu verwerten, erörtert. Allerdings scheint die Gabe von Phosphorsupplementen diese Fähigkeit zumindest teilweise zu dämpfen (Zeller et al., 2015). Dies müsste auch Konsequenzen für die Zinkverwertung im Hühnervogel haben. In der Tat zeigen eigene erste Arbeiten hierzu, dass die Höhe der alimentären Phosphorversorgung den Zinkstatus von Legehennen zumindest kurzfristig beeinflusst. Interessanterweise löste eine kurzfristige Fütterung ohne Ergänzung mit anorganischem Phosphor, unabhängig von der Höhe der alimentären Zinkversorgung, eine Entleerung der Knochenzinkspeicher adulter Legehennen aus, mutmasslich als Folge erhöhter Mobilisierung von Knochenmasse zur Freisetzung von Phosphor und Calcium. Die Freisetzung von Phosphor aus dem Knochen bewirkte eine Erhöhung des Plasmazinkspiegels sowie eine erhöhte Zinkexkretion ins Vollei (Brugger et al., 2020a, Brugger et al., 2020c). Gleichzeitig zeigten diese Tiere eine reduzierte scheinbare Absorption des Zinks verglichen zu den Tieren die Phosphor supplementiert bekommen haben (Brugger et al., 2020b). Mutmasslich führte der erhöhte Einstrom von Knochenzink im Blut zu Herunterregulierung der Zinkabsorption im Darm. Die unspezifische Entleerung der Knochenpeicher täuschte somit eine Zinkübersversorgung vor. Interessant ist, dass im krassen Gegensatz dazu, die

Mobilisierung von Zink aus dem Knochen beim Säuger unabhängig von der Freisetzung von Calcium und Phosphor zu sein scheint (Windisch et al., 2002). Weiterführende Untersuchungen müssen diesen Sachverhalt weiter aufklären.

Schlussfolgerung

Ein kurzfristiger, subklinischer Zinkmangel führt im Absetzferkel zu signifikanten Veränderungen im Stoffwechsel und bereits ersten pathophysiologischen Veränderungen auf subzellulärer Ebene (erhöhter oxidativer Stress). Diese Befunde zeigen eindrücklich wie wichtig eine kontinuierliche und stabile Versorgung mit Nahrungszink für die Gewährleistung der Stabilität des Leistungsstoffwechsels ist. Erste Daten in Legern legen nahe, dass diese ebenfalls eine gewisse Anfälligkeit für subklinischen Zinkmangel in Gegenwart hoher Phytatgehalte im Futter haben. Zudem zeigte sich eine Reduktion des Knochenzinkstatus und daraus resultierend, eine Dysregulation der Zinkhomöostase von Legern bei alimentärem Phosphormangel.

Literaturverzeichnis

- Andreini, C, Banci, L., Bertini, I. and Rosato, A. (2006): Counting the zinc-proteins encoded in the human genome. *J. Proteome Res.* **5**: 196-201
- Brugger, D. Buffler, M. and Windisch, W. (2014): Development of an experimental model to assess the bioavailability of zinc in practical piglet diets. *Arch. Anim. Nutr.* **68**: 73-92
- Brugger, D., Hanauer, M., Ortner, J. and Windisch, W. (2021): The response of zinc transporter gene expression of selected tissues in a pig model of subclinical zinc deficiency. *J. Nutr. Biochem.* **90**: 108576
- Brugger, D., Urban, P., Pokorny, J., Puntigam, R., Slama, J., Schedle, K., Schlattl, M. and Windisch, W. (2020a): Reduced dietary P and Zn supply to laying hens affects egg weight and egg Zn. In: *Book of abstracts of the 71st annual meeting of the European Federation of Animal Science* (eds. E. Strandberg, L. Pinotti, S. Messori, H. Sauerwein, M.R.F. Lee, J.F. Hocquette, J. Conington, S. Millet, A.S. Santos, T. Veldkamp, I. Halachmi and G. Pollott). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands: S. 594
- Brugger, D., Urban, P., Puntigam, R., Slama, J., Schedle, K., Schlattl, M. and Windisch, W. (2020b): The effects of feeding varying concentrations of phosphorus and zinc to laying hens on the apparent ileal and total tract digestibility of phosphorus and zinc. In: *Congress proceedings. 24th Congress of the European College of Veterinary and Comparative Nutrition*. online, hosted by Ludwig-Maximilians-University Munich, Germany: S. 70
- Brugger, D., Weller, A., Puntigam, R., Slama, J., and Windisch, W. (2020c): Effects of low dietary phosphorus and zinc levels on the zinc status of laying hens. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **29**: 41
- Brugger, D. and Windisch, W. (2016): Subclinical zinc deficiency impairs pancreatic digestive enzyme activity and digestive capacity of weaned piglets. *Brit. J. Nutr.* **116**: 425-433

- Brugger, D. and Windisch, W. (2017): Short-term subclinical zinc deficiency in weaned piglets affects cardiac redox metabolism and zinc concentration. *J. Nutr.* **147**: 521-527
- Brugger, D. and Windisch, W. (2019a): Adaption of body zinc pools in weaned piglets challenged with subclinical zinc deficiency. *Brit. J. Nutr.* **121**: 849-858
- Brugger, D. and Windisch, W. (2019b): Zn metabolism of monogastric species and consequences for the definition of feeding requirements and the estimation of feed zinc bioavailability. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* **20**: 617-627
- Davin, R., Manzanilla, E.G., Klasing, K.C. and Pérez, J.F. (2013): Effect of weaning and in-feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **97**: Suppl. 1: 6-12
- Humer, E., Schwarz, C. and Schedle, K. (2015): Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **99**: 605-625
- Maret, W. (2019): The redox biology of redox-inert zinc ions. *Free Radical Biol. Med.* **134**: 311-326
- National Research Council (1994): Nutrient requirements of poultry, 9th revised edition National Academy Press, Washington, DC, USA
- National Research Council (2012): Nutrient requirements of swine, 11th revised edition National Academy Press, Washington, D.C., USA
- O'Dell, B.L. and Savage, J.E. (1977): Significance of dietary zinc for the growing chicken. *J. Nutr.* **65**: 503-518
- V. Sommerfeld, A.G. Van Kessel, H.L. Classen, M. Schollenberger, I. Kühn and Rodehutschord, M. (2019): Phytate degradation in gnotobiotic broiler chickens and effects of dietary supplements of phosphorus, calcium, and phytase. *Poult. Sci.* **98**: 5562-5570
- Suttle, N.F. (2010): Mineral Nutrition of Livestock CABI Publishing, Wallingford (UK)
- Tucker, H.F. and Salmon, W.D. (1955): Parakeratosis or zinc deficiency disease in the pig. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **88**: 613-616
- Windisch, W., Wehr, U., Rambeck, W. and Erben, R. (2002): Effect of Zn deficiency and subsequent Zn repletion on bone mineral composition and markers of bone tissue metabolism in ⁶⁵Zn labelled, young-adult rats. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **86**: 214-221
- Zeller, E., Schollenberger, M., Witzig, M., Shastak, Y., Kühn, I., Hoelzle, E. and Rodehutschord, M. (2015): Interactions between supplemented mineral phosphorus and phytase on phytate hydrolysis and inositol phosphates in the small intestine of broilers. *Poult. Sci.* **94**: 1018-1029.

Evaluation of milk MIR-spectra for assessment of dairy cow health at a cow-individual and at a herd level

J.J. Gross and R.M. Bruckmaier

Veterinary Physiology, Vetsuisse Faculty, University of Bern, Bern, Switzerland

Contact: Josef J. Gross, josef.gross@vetsuisse.unibe.ch

Introduction

The presented results are based on a study conducted by the Veterinary Physiology (Vetsuisse Faculty, University of Bern) in collaboration with Suisselab AG (Zollikofen) and Qualitas AG (Zug) and with the support of the breeding associations swissherdbook (Zollikofen), Braunvieh Schweiz (Zug, Switzerland), and Holstein Switzerland (Posieux). For further experimental details and literature citations refer to the original publication of Caldeira et al. (2020).

The early lactation period in dairy cows is accompanied by an enhanced lipolysis in adipose tissue, which results in greater concentrations of non-esterified fatty acids (NEFA) and β -hydroxybutyrate (BHB) in blood (Bruckmaier and Gross, 2017; Gross and Bruckmaier, 2019a). Hyperketonemia originates mainly from the incomplete oxidation of NEFA in the liver and is characterized by elevated concentrations of ketone bodies (acetoacetate, acetone, and BHB) in body fluids and simultaneously low glucose concentrations (Duffield et al., 2009). Besides the decline in feed intake and milk production, subclinical ketosis (SCK) can trigger the development of further health issues associated with reduced animal performance, such as clinical ketosis (CK), displaced abomasum and mastitis. Currently, the gold standard for SCK and CK diagnosis is the measurement of BHB in blood. However, it is an invasive method and not suitable for frequent sampling to allow an early detection of animals at risk. Milk that is non-invasively and frequently obtained is a favorable medium, especially with regard to established routine analysis of milk components (Gross and Bruckmaier, 2019b). Fourier-transform mid-infrared spectrometry (FTIR) is an indirect and non-destructive detection method used worldwide since years to reliably determine milk gross composition (De Marchi et al., 2014). The primary aim of this study was to evaluate the suitability of MIR spectra-predicted acetone and BHB in milk for early detection of elevated blood BHB concentrations in individual cows or at a herd level. Special attention is put on the relevance for the detection of individual cow SCK in small scale dairy farms under consideration of the low sampling frequency (approx. once/month) within the regular DHI recordings.

Materials and methods

Experiment 1 - Field trial

Blood and milk samples from 210 dairy cows were taken concomitantly every 2 weeks from calving until approximately 125 days post partum and once at around 200 days in milk from three different breeds: Holstein (n = 80), Brown Swiss (n = 72) and Swiss Fleckvieh (n = 58). In total, we obtained 1,766 blood and milk samples in parallel. Data on milk yield were obtained from the official DHI milk recordings during the sampling period.

Experiment 2 - Clinical ketosis cases

Data of 474 cows (66 Holstein, 408 Brown Swiss) diagnosed with CK by veterinarians during the first 60 days post partum were obtained from the central database of Qualitas AG (Zug, Switzerland). Data included the date of CK diagnosis relative to parturition, and results of the previous DHI recording with MIR spectra-predicted acetone and BHB concentrations in milk. These results were contrasted with the measurements of MIR spectra-predicted BHB and acetone in milk of 420 control samples from experiment 1 (cows without SCK, blood BHB concentration at sampling < 1.0 mmol/L, similar date of sampling relative to parturition compared with the DHI recordings, similar proportion of Brown Swiss and Holstein milk samples) to investigate if deviations in milk composition would allow to diagnose the development of CK prior to the diagnosis of a veterinarian based on clinical signs of ketosis.

Experiment 3 - Measurements of BHB in milk by an automatic in-line analyzer on-farm

Milk BHB data from an automatic on-farm milk analysis system (Herd Navigator (HN), DeLaval, Tumba, Sweden) that frequently samples and colorimetrically measures milk BHB, were collected in three farms using robotic milking systems (Voluntary Milking System VMS, DeLaval, Tumba, Sweden). Machine settings were adjusted to measure milk BHB daily from days 4 to 21, and every 4 days from days 22 to 62 post partum. In total, milk BHB profiles of 175 cows (Holstein, Brown Swiss, and Swiss Fleckvieh) were evaluated. In addition, 136 direct comparisons of BHB measurements in milk, both from the HN device and predicted by milk MIR spectra derived from a concomitant DHI control (11 times per year) on the same day, were conducted.

Analyses in blood and milk, and statistical evaluation

Blood samples were analyzed for BHB with an automated analyzer using a commercial enzymatic kit. Chemical measurement of acetone concentration in milk was done on an autoanalyzer in the laboratory of Suisselab AG (Zollikofen). MIR-spectrum based measurements of milk fat and protein,

as well as prediction of BHB and acetone concentrations in milk were done on a MilkoScan FT 6000 analyzer using the corresponding prediction models from FOSS (Foss, Hilleroed, Denmark).

We used Pearson's correlation coefficients to investigate the relationship between blood BHB concentration, milk fat to protein ratio (FPR) in milk, the chemically determined acetone concentration in milk, and the MIR spectra-predicted milk BHB and acetone concentrations. All variables were checked for normal distribution. The repeated measures mixed model analysis was performed to examine the effects of breed, farm, and parity number. The individual cow was considered as repeated subject. The Tukey-Kramer post hoc test was used for detection of significances at $P < 0.05$. Data on CK diagnosis and related previous DHI recordings including MIR spectra-predicted acetone and BHB concentrations in milk were summarized by breed on a weekly basis relative to the date of CK diagnosis. Contrasting of weekly summarized milk BHB concentrations predicted from DHI samples in CK cows against appropriate controls without CK was performed by paired t-tests.

Results

Experiment 1 - Field trial

Only 3.6% out of the samples obtained biweekly in the field study had blood BHB concentrations ≥ 1.0 mmol/L. Samples with blood BHB concentrations < 1.0 mmol/L were considered non-SCK. SCK in cows of all breeds was detected mostly during the first eight weeks post partum. There was no effect of breed on blood BHB concentrations ($P = 0.48$) and milk acetone measured chemically ($P = 0.28$). Multiparous cows (parity ≥ 2) had greater blood BHB concentrations (0.57 ± 0.01 mmol/L), MIR spectra-predicted BHB (0.03 ± 0.00 mmol/L) and milk acetone measured chemically (0.05 ± 0.00 mmol/L) compared to primiparous cows (0.49 ± 0.01 mmol/L, 0.01 ± 0.00 mmol/L and 0.05 ± 0.00 mmol/L, respectively). Milk yield in Holstein (36.1 ± 0.5 kg/d) and Swiss Fleckvieh (34.9 ± 0.6 kg/d) was higher compared to Brown Swiss (31.6 ± 0.5 kg/d; $P < 0.05$). Overall, first parity cows (27.7 ± 0.3 kg/d) had a lower milk production than multiparous cows (38.0 ± 0.4 kg/d; $P < 0.0001$). The correlation between blood BHB and milk MIR spectra-predicted BHB was low ($r = 0.37$). In terms of MIR spectra-predicted acetone in milk, the overall correlation with blood BHB concentration was low ($r = 0.12$). Even when MIR spectra-predicted acetone was contrasted with the concomitant chemical measures of milk acetone, the correlation was low ($r = 0.12$). However, milk acetone concentrations measured chemically correlated quite well with blood BHB concentration ($r = 0.69$). The milk fat to protein ratios poorly correlated with blood BHB concentrations ($r = 0.16$).

Experiment 2 - Clinical ketosis cases

Holstein cows that were diagnosed with CK (n = 66) had greater MIR spectra-predicted BHB and acetone concentrations in milk (0.15 ± 0.03 mmol/L and 0.22 ± 0.04 mmol/L, respectively) compared with non-ketotic Holstein cows of similar performance and lactational stage (-0.01 ± 0.00 mmol/L and -0.03 ± 0.00 mmol/L; $P < 0.05$). Similar results were found in Brown Swiss cows identified with CK (n = 408), which had greater values of MIR spectra-predicted milk BHB and acetone (0.18 ± 0.01 mmol/L and 0.24 ± 0.02 mmol/L, respectively; $P < 0.05$) compared with respective controls (0.02 ± 0.00 mmol/L and 0.00 ± 0.01 mmol/L, respectively). The MIR spectra-predicted BHB and acetone concentrations in milk varied considerably in Brown Swiss and Holstein cows at DHI controls in the days and weeks prior to diagnosis of CK. Even on the day of CK diagnosis, we observed a high variation of estimated ketone body concentrations in milk.

Experiment 3 - Measurements of BHB in milk by an automatic in-line analyzer on-farm

The analysis of individual milk BHB profiles based on HN measurements indicated that 15.6% of all cows had at least one milk BHB concentration greater 0.12 mmol/L. Milk BHB was higher than 0.12 mmol/L on three consecutive days on average. A moderate positive correlation was found between the direct enzymatic milk BHB measurements by the HN and the indirect MIR spectra-predicted milk BHB content obtained from concomitantly DHI recordings on the same day ($r = 0.61$; $P < 0.0001$). Assuming the HN alarms at milk BHB concentrations of 0.12 mmol/L as reference criterion, approximately 90% of the hyperketonemia cases would have been missed by the DHI control performed approximately only once per month.

Discussion

FTIR spectrometry has doubtlessly evolved into an essential and useful tool in the routine analyses of milk gross composition (reviewed by Gross and Bruckmaier, 2019b). Furthermore, diverse health and performance traits can be associated with defined regions of the milk MIR spectrum (Grelet et al., 2016). Two of these traits are acetone and BHB in milk. However, ketone bodies in milk cannot be measured directly by FTIR analysis (De Marchi et al., 2014). Instead, MIR spectra are used for indirectly predicting their content, based on algorithms measuring changes in milk composition that are associated with SCK and CK (e.g., contents of milk fat, protein, composition of fatty acids in milk etc.; Gross and Bruckmaier, 2019b). Most research on the use of milk MIR spectrometry to detect ketosis was conducted in larger dairy herds with Holstein cows experiencing marked metabolic stress (de Roos et al., 2007; van Knegsel et al., 2010). However, limited data is available to assess the suitability to predict SCK at the individual cow level, in cows with moderate metabolic load and of

different breeds. Additionally, in small dairy herds, only few cows with a considerable metabolic load are present for a reliable detection of cows at risk for SCK.

Only a small percentage (less than 4%) of the blood samples in the present field study exceeded the threshold of BHB concentrations of 1.0 mmol/L that we used here for classification of SCK. This result, somehow, contradicts the averages of prevalence rates of SCK reported in Europe (22 to 41%) by Suthar et al. (2013) and Brunner et al. (2019). We selected farms that are representative in terms of feeding and performance for the herd size of 40-50 dairy cows in Switzerland. However, this does not imply that SCK is not an issue for Swiss dairy cows, given the fact that variation of metabolic load between individual cows kept on the same farm can be remarkable (Kessel et al., 2008; Gross and Bruckmaier, 2015). Blood ketone bodies are established markers for poor metabolic adaptation (Zbinden et al., 2017; Gross and Bruckmaier, 2019a,b). Primiparous cows had lower concentrations of blood BHB compared with multiparous cows. This can be attributed to the lower milk production and consequently lower metabolic load compared with multiparous animals (Morales Piñeyrúa et al., 2018).

Our results revealed only a low correlation between analyzing blood BHB and MIR spectra-predicted BHB in milk, as well as less than 12% of true positive values indicated by the estimated milk BHB content. When BHB concentrations in blood are low, likewise less ketone bodies are expected to appear in milk. Together with the indirect assessment and estimation of milk ketones by the FTIR analysis, its suitability for SCK detection via milk is further limited in cows below the SCK threshold of ketone body concentration. The small number of samples in our field study correctly identified as true positive and the low correlations with the reference analysis of blood BHB discourage the use of milk MIR spectra-predicted ketone bodies to predict SCK in individual cows. Van Kneegsel et al. (2010) reported a high sensitivity of milk BHB and acetone estimated by FTIR spectrometry in predicting SCK with similar low percentage of true positive samples ($\leq 18\%$), but included cows with greater blood BHB concentrations compared with our present study. In a more recent study by Grelet et al. (2016), evaluations included samples with greater BHB and acetone contents in milk, and consequently more SCK and CK cows than ours. In our study, the closest correlation was found between the two reference methods, enzymatic measurement of BHB in blood and chemical measurement of acetone in milk.

Although milk MIR spectra-predicted BHB and acetone were elevated in the SCK cows of experiment 2, there was no relationship with the interval between milk sampling and CK diagnosis. Even repeated and denser milk sampling did not improve the correlation of milk MIR spectra-predicted ketone bodies with the same day enzymatic measurement of BHB measured by the HN. However,

the frequent analysis by automated in-line devices is more suitable to early detect and monitor individual cows at risk of hyperketonemia compared with monthly results provided by the DHI controls only. Depending on the time of the first DHI control post partum, most of the metabolic adaptation responses taking place within 2-3 weeks may not be captured. As our field study and other recent publications showed, the elevated risk of cows to develop ketosis during early lactation requires a higher frequency of sampling. Assuming common herd sizes of 20-30 dairy cows in many European family operated farms, only very few animals are at a similar lactation stage on a farm. Consequently, in small herds an early detection of SCK via MIR spectra-based prediction of milk ketones using monthly DHI controls is unlikely. However, in larger dairy herds, monthly MIR spectra-predicted ketones in combination with milk components and milk fatty acids can be indicative for metabolic status at herd level, particularly in early lactation. Thus, management of cows at risk can be adjusted by e.g. improved feeding, more frequent observations and earlier veterinary interventions.

Conclusions

Our study shows that the diagnostic value of MIR spectra-predicted concentrations of ketone bodies in milk is limited in terms of an early detection of SCK when dairy cows are experiencing a moderate metabolic load. Particularly when only few animals at risk are present (e.g. in small herds) and corresponding intervals of milk sampling are rather wide, the likelihood for detecting those animals is marginal. The indirect assessment of milk ketones by FTIR spectrometry does not reliably detect hyperketonemia. In contrast to small dairy herds, however, MIR spectra-predicted ketones in milk can provide additional information on the metabolic status of early lactating cows in larger dairy farms.

References

Caldeira, M.O., Dan, D., Neuheuser, A.-L., Stürmlin, R., Weber, C., Glauser, D.L., Stierli, M., Schuler, U., Moll, J., Wegmann, S., Bruckmaier, R.M. and Gross, J.J. (2020): Opportunities and limitations of milk mid-infrared spectra based estimation of acetone and β -hydroxybutyrate for the prediction of metabolic stress and ketosis in dairy cows. *J. Dairy Res.* **87**: 196-203.

More than food: milk extracellular vesicles to assess animal health

G. Silvestrelli, S.E. Ulbrich and M. Saenz De Juano

ETH Zürich, Institute of Agricultural Science, Zurich, Switzerland

Contact: Giulia Silvestrelli, giulia.silvestrelli@usys.ethz.ch

Introduction

Milk composition results from the secretion of luminal epithelial cells of the mammary gland and the selective transport of components from blood passing through the para- and transcellular pathway to the alveolar lumen (Akers 2015). Physical parameters as well as the biochemical composition of milk reflect the health status primarily of the udder, but also of the whole organism (Reist, Erdin et al. 2002, Schukken, Wilson et al. 2003, Lindmark-Månsson, Bränning et al. 2006, Glatz-Hoppe, Boldt et al. 2020). Alterations in milk can be caused by mastitis, the inflammation of the mammary gland, which is the costliest disease in dairy farming worldwide (Seegers, Fourichon et al. 2003, Halasa, Huijps et al. 2007, Wellnitz and Bruckmaier 2012). Upon mastitis, immune cells are recruited in the alveolar lumen, ducts, and teat cistern. Therefore, their number in milk increases. This change – the somatic cell count (SCC) - is used on regular basis to monitor udder health from the individuals and on the herd level (Schukken, Wilson et al. 2003, Bobbo, Penasa et al. 2020). Further parameters in milk are widely used to evaluate animal health. In fact, the possibility of assessing animal health more promptly and with high specificity is attractive and needed. Extracellular vesicles (EV) are small lipid bilayer particles that are released by donor cells to the extracellular space and are delivered to their target cells in short and long distance (Niel, Angelo et al. 2018). EV mediate the intercellular communication as they contain proteins, lipids and nucleic acids having a signalling function (Raposo and Stoorvogel 2013). Indeed, cells respond to environmental and intracellular changes also by changing the type, the amount and cargo of the secreted EV. On the target cell side, EV can exert an effect on the physiology of the receiving cells (Niel, Angelo et al. 2018). EV are found in many biofluids, including milk. As they are relatively easy to isolate and analyse (E. Sedykh, E. Burkova et al. 2019), EV offer the possibility to detect the information that cells exchange both locally, e.g. within the udder, as well as at the systemic level. With respect to milk, it has been shown that upon induced intramammary infection, EV are enriched in proteins and small RNAs relating to an immune function (Reinhardt, Sacco et al. 2013, Sun, Aswath et al. 2015, Cai, He et al. 2018). Moreover, also

in natural occurring subclinical mastitis, some of these small RNAs were enriched in quarters displaying a high SCC, compared to healthy quarters (own unpublished data). Despite that the EV response to mastitis has been characterized, many aspects of EV-mediated communication within the udder have not been elucidated to date. For this reason, we aimed at investigating the role of EV in an *in vitro* system that resembles the original tissue at best by establishing an air liquid interface (ALI) culture of primary bovine mammary epithelial cells (MEC). Here, we present our preliminary results of the culture establishment and EV isolation.

Materials and methods

MEC were isolated by mechanical and enzymatic digestion (0,5 mg/mL collagenase IV, 0,5 mg/mL dispase II) of mammary gland tissues taken from a lactating cow. Cells were seeded on Nunc plates in a chemically defined medium: DMEM/F12 (Gibco), supplemented with B27 1:50 (Gibco), 5 µg/mL Insulin, 5 µg/mL Hydrocortisone, Estradiol (E2) 100 nM, Progesterone 300 pM and 5 ng/mL Epidermal Growth Factor (EGF). Cells at 80% confluence were trypsinized, and 1×10^5 cells were plated on 24-well plates Sartstedt inserts (0.4 µm pore size, PET, transparent), covered by 160 µL of medium on the apical side, 800 µL on the basal side (liquid-liquid, LL). When cells were confluent, the apical medium was removed (air-liquid, AL), and the secretion of the cells (milk surrogate) was collected every 3-4 days and spun at 300g, 1000g and 12'000 g to remove respectively cells, cell debris, and apoptotic bodies. EV from the milk surrogate were isolated by size exclusion chromatography (SEC) with qEV columns (IZON) and ultracentrifugation at $100k \times g$ for 2 hours. The final pellet was resuspended in 30 µL of PBS. EV concentration and size was determined by tunable resistive pulse sensing (TRPS) with a qNano Gold device (IZON), and EV (TSG101) and intracellular (calnexin) protein markers by Western blot.

Results

After around 7 days of culture on inserts, MEC were confluent and the apical medium was removed. We observed that, after 4-7 days from the confluence, cells tended to form aggregates and ducts-like structures despite single cells were seeded. Moreover, the formation of these structures was concurrent with the formation of holes on the cells layer, leaving some areas of the insert membrane uncovered by cells. After 3-4 days from the transition to ALI, we observed a secretion on top of the inserts (milk surrogate), while inserts without cells were not covered by any liquid. Since then, every 3-4 days cells produced 9 ± 1.5 µL of milk surrogate for more than 30 days. We were able to isolate on average $6.95E+07 \pm 1.49E+07$ particles per well displaying a diameter of 47 to 462 nm (mean: 100.31

± 39.94 nm; median: 90 nm). Western blot analysis showed that the isolated particles were positive for the EV protein marker TSG101 and negative for the intracellular marker calnexin.

Discussion

MEC cultured on inserts took approximately 7 days to reach confluency and further 3-4 days to start secreting a milk surrogate. A similar timing was observed in ALI cultures of the reproductive tract (Chen, Palma-Vera et al. 2017) and airway epithelia (Lin, Li et al. 2007, Comer, Kidney et al. 2013). In addition, MEC on inserts did not keep the monolayer for long, but rather formed aggregates and ducts, in line with recent observations (Walter, Fry et al. 2020). We excluded any leakage from the basal compartment, showing that despite cells did not form a monolayer, the apical secretion was cell-derived. The western blot analysis confirmed that MEC under our ALI conditions produced EV. These EV were successfully isolated without intracellular contamination as shown by the absence of calnexin in the western blot analysis. Even though the initial input material was low, we were able to isolate EV covering the range of both exosomes (30-100 nm) and microvesicles (100-1000 nm), two subtypes of EV (Raposo and Stoorvogel 2013).

Conclusions and future perspectives

Our preliminary results show that bovine MEC cultured under ALI conditions follow patterns of culture development and morphology as previous reported cases of other epithelial cells (Chen and Schoen 2019). Moreover, the ALI-MEC culture system allows the isolation of EV from the apical secretions. The next steps will be a further development of the culture system to 3D by using a bi-*o*-printing approach to obtain i) a MEC monolayer that better models the blood-milk barrier and ii) stromal cells included in co-culture system, that render the culture closer to the *in vivo* condition. Importantly, we will investigate the functional differentiation of MEC in this culture system and further characterize the milk surrogate composition by analysing the presence of typical milk components. Eventually, we will exploit MEC to investigate the role of milk EV in mammary gland physiology and pathology and their potential role to assess animal health.

References

Akers, R.M. (2015): Lactation physiology : A ruminant animal perspective

Bobbo, T., Penasa, M. and Cassandro, M. (2020): Combining total and differential somatic cell count to better assess the association of udder health status with milk yield, composition and coagulation properties in cattle. *Italian Journal of Animal Science*, **19**(1): 697-703

- Cai, M., He, H., Jia, X., Chen, S., Wang, J., Shi, Y., Liu, B. and Xiao, W. (2018): Genome-wide microRNA profiling of bovine milk-derived exosomes infected with *Staphylococcus aureus*. 663-672
- Chen, S., Palma-Vera, S.E., Langhammer, M., Galuska, S.P., Braun, B.C., Krause, E., Lucas-Hahn, A. and Schoen, J. (2017): An air-liquid interphase approach for modeling the early embryo-maternal contact zone. *Scientific Reports*
- Chen, S. and Schoen, J. (2019): Air-liquid interface cell culture: From airway epithelium to the female reproductive tract. *Reproduction in Domestic Animals*, **54**: 38-45
- Comer, D.M., Kidney, J.C. Ennis, M. and Elborn, J.S. (2013): Airway epithelial cell apoptosis and inflammation in COPD, smokers and nonsmokers. *European Respiratory Journal*, **41**(5): 1058-1067
- Sedykh, S.E., Burkova, E.E., Purvinsh, L.V., Klemeshova, D.A., Ryabchikova, E.I. and Nevinsky, G.A. (2019): Milk Exosomes: Isolation, Biochemistry, Morphology, and Perspectives of Use. Extracellular Vesicles [Working Title]
- Glatz-Hoppe, J., Boldt, A., Spiekers, H., Mohr, E. and Losand, B. (2020): Relationship between milk constituents from milk testing and health, feeding, and metabolic data of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **103**(11): 10175-10194
- Halasa, T., Huijps, K., Østerås, O. and Hogeveen, H. (2007): Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Veterinary quarterly* **29**(1): 18-31
- Lin, H., Li, H., Cho, H.-J., Bian, S., Roh, H.-J., Lee, M.-K., Kim, J.S., Chung, S.-J., Shim, C.-K. and Kim, D.-D. (2007): Air-liquid interface (ALI) culture of human bronchial epithelial cell monolayers as an in vitro model for airway drug transport studies. *Journal of pharmaceutical sciences*, **96**(2): 341-350
- Lindmark-Månsson, H., Bränning, C., Alden, G. and Paulsson, M. (2006): Relationship between somatic cell count, individual leukocyte populations and milk components in bovine udder quarter milk. *International Dairy Journal*, **16**(7): 717-727
- Niel, G.V., Angelo, G.D. and Raposo, G. (2018): Shedding light on the cell biology of extracellular vesicles. *Nature Publishing Group*, **19**: 213-228
- Raposo, G. and Stoorvogel, W. (2013): Extracellular vesicles: Exosomes, microvesicles, and friends. *Journal of Cell Biology*
- Reinhardt, T.A., Sacco, R.E., Nonnecke, B.J. and Lippolis, J.D. (2013): Bovine milk proteome: Quantitative changes in normal milk exosomes, milk fat globule membranes and whey proteomes resulting from *Staphylococcus aureus* mastitis. *Journal of Proteomics*
- Reist, M., Erdin, D., Von Euw, D., Tschuemperlin, K., Leuenberger, H., Chilliard, Y., Hammon, H., Morel, C., Philipona, C. and Zbinden, Y. (2002): Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *Journal of dairy science*, **85**(12): 3314-3327
- Schukken, Y.H., Wilson, D.J., Welcome, F., Garrison-Tikofsky, L. and Gonzalez, R.N. (2003): Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Veterinary research*, **34**(5): 579-596
- Seegers, H., Fourichon, C. and Beaudeau, F. (2003): Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Veterinary research*, **34**(5): 475-491

Sun, J., Aswath, K., Schroeder, S.G., Lippolis, J.D., Reinhardt, T.A. and Sonstegard, T.S. (2015): MicroRNA expression profiles of bovine milk exosomes in response to *Staphylococcus aureus* infection. *BMC Genomics*

Walter, L., Fry, R., Logan, A. and Leury, B.J. (2020): Investigation on the suitability of milk-derived primary bovine mammary epithelial cells grown on permeable membrane supports as an in vitro model for lactation. *In Vitro Cellular & Developmental biology. Animal*

Wellnitz, O. and Bruckmaier, R.M. (2012): The innate immune response of the bovine mammary gland to bacterial infection. *The veterinary journal*, **192**(2): 148-152.

Futterwert der Brennessel: Gehalte an Protein und Energie in Stängeln, Blättern oder der Ganzpflanze

G. Sidler, B. Reidy und S. Ineichen

BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), 3052 Zollikofen, Schweiz

Kontakt: Simon Ineichen, simon.ineichen@bfh.ch

Einleitung

Die Grosse Brennessel (*Urtica dioica* L.) ist eine mehrjährige Pflanze, die als Futterpflanze bis anhin wenig Beachtung findet. Auf der Weide wird die Pflanze von Tieren verschmäht, wodurch sie als unerwünschter Platzräuber gilt. Dies begründet sich zum einen durch ihr dichtes, durch Ausläufer gebildete Wurzelwerk, das so den Boden rasch bedeckt. Die sowohl ober- wie auch unterirdisch vorkommenden Ausläufer können bis zu 1 m lang werden und besiedeln eine Tiefe von bis zu 20 cm. Zum anderen werden durch das üblicherweise buschige Vorkommen der Brennessel erwünschte Begleitarten wie Futtergräser- und Leguminosen durch Lichtkonkurrenz verdrängt (Bross-Burkhardt, 2015). Allgemein gilt die Brennessel als Zeigerpflanze für eine gute Nährstoffversorgung (Bross-Burkhardt, 2015). Siliert oder getrocknete junge Pflanzen werden vom Rindvieh gut gefressen. Die Grosse Brennessel enthält eine Reihe wertvoller Inhaltsstoffe, dazu zählen unter anderem acht essenzielle Aminosäuren, die Vitamine A, C und E, sowie der B-Komplex. Im Weiteren sind zahlreiche Mineral- Spurenelemente enthalten. In der Tierernährung wird die Brennessel aufgrund ihres hohen Eisengehaltes vorwiegend zu Kückenfutter beigemischt oder zur Anreicherung von Carotinoiden im Eigelb (Loetscher et al., 2013). In der vorliegenden Arbeit wurden die Gehalte an Rohprotein (RP) und Netto-Energie-Laktation (NEL) von Stängeln, Blätter, Blüten oder der ganzen Pflanze von Brennesseln unterschiedlicher Herkunft (Standorte) und Aufwuchshöhen untersucht, um den Futterwert diese Pflanze besser erfassen zu können.

Material und Methoden

Von 20 verschiedenen Standorten im Kanton Bern und Luzern wurden im Herbst 2020 je ~ 1 kg Frischmasse an Brennesselproben genommen. Dabei wurde der Probenstandort in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Sonneneinstrahlung unterschieden in a) Wald, b) Waldrand oder c) Wiese. Vor der Entnahme wurde die Wuchshöhe der Brennesseln von der Wurzelbasis bis zur Blüte (falls vorhanden) respektive bis zur obersten Blattspitze gemessen. Die Brennesseln wurden aufgrund ihrer

Wuchshöhe eingeteilt in a) ≤ 50 cm, b) $50 \text{ cm} < x < 100$ cm und c) ≥ 100 cm, um damit das Entwicklungsstadium der Pflanzen abschätzen zu können. Im Labor wurden die Pflanzen morphologisch separiert in a) Stängel, b) Blätter und c) Blüten und während 48 h bei 60°C getrocknet, um die jeweiligen Anteile an Trockensubstanz (TS) der Ganzpflanze zu ermitteln. Die separierten Proben wurden auf eine Siebgrösse von 0.75 mm gemahlen. Analysiert wurden Rohasche, organische Substanz (OS), die TS (alle mittels TGA-801, Leco Corporation), sowie der N-Gehalt (CHN628, Leco Corporation). Der Gehalt an RP wurde mittels $N \times 6.25$ errechnet. Der Gehalt an NEL wurde mit dem Hohenheimer Futterwert-Test gemäss dem Protokoll von Menke und Steingass (1988), sowie Ergänzungen gemäss Edmunds et al. (2012) bestimmt. Jede Probe wurde einzeln, aber in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen inkubiert. Pansensaft wurde von einem Spendertier der Universität Bern bezogen (BE 122/19). Die Daten wurden mit SigmaPlot (v.12.5) ausgewertet: $Y = \text{Standort} \times \text{Wuchshöhe}$. Als Signifikanzniveau wurde 0.05 gewählt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Anteile der Stängel-TS belaufen sich zwischen 27.0 und 50.2 %, jene der Blattmasse entsprechend zwischen 49.8 und 72.6 %. (Tabelle 1). Innerhalb der Wuchshöhe bestehen signifikante Unterschiede für die Stängelanteile, die für Pflanzen einer Wuchshöhe < 50 cm tiefer sind als jene einer Wuchshöhe ≥ 100 cm ($P < 0.05$).

Tabelle 1: Anteile an Stängeln und Blättern (% Trockensubstanz, TS), Gehalte an Rohprotein (RP, g/kg TS) und Netto-Energie-Laktation (MJ NEL/kg TS) von Brennesseln unterschiedlicher Standorte und Wuchshöhen.

	Standort			Wuchshöhe			SEM ¹	P-Werte		
	Wald	Waldrand	Wiese	≤ 50	$50 < X < 100$	≥ 100				
% TS										
Stängel	41.5	38.2	37.8	27.4 ^b	40.0 ^{ab}	50.2 ^a	2.64	NS	<0.05	NS
Blätter	58.5	61.8	62.2	72.6 ^a	60.0 ^{ab}	49.8 ^b	2.64	NS	<0.05	NS
g RP/kg TS										
Stängel	123	79.0	86.0	129	78.5	80.9	10.0	NS	NS	NS
Blätter	300	239	265	291	259	254	9.27	NS	NS	NS
Ganzpflanze	260	236	220	249	237	230	10.6	NS	NS	NS
MJ NEL/kg TS										
Stängel	4.25	4.44	4.64	4.76	4.37	4.20	0.10	NS	NS	NS
Blätter	4.95	4.74	5.54	5.25	4.98	5.06	0.16	NS	NS	NS
Ganzpflanze	4.77	4.74	5.24	5.00	4.86	4.89	0.16	NS	NS	NS

^{a,b} Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0.05$).

¹SEM, Standardfehler.

Jene der Blätteranteile verhalten sich entsprechend invers. Insgesamt sind keine signifikanten Einflüsse des Standortes oder der Wuchshöhe auf die Gehalte an RP oder NEL zu verzeichnen. Im Mittel variieren die Gehalte an RP für die Stängel zwischen 7.9 bis 12.9 %, jene der Blätter zwischen 23.9

bis 30.0 % und diejenigen der Ganzpflanzen zwischen 22.0 bis 26.0 %. Die höchsten Gehalte an RP wiesen Brennnesselproben des Standortes Wald bzw. solche einer Wuchshöhe kleiner als 50 cm auf. Bei diesen Proben handelte es sich um vergleichsweise junge Pflanzen mit hohem Blattanteil und entsprechend hoher RP-Konzentration. Die ermittelten RP-Gehalte sind somit vergleichbar mit jenen häufiger Futterleguminosen wie des Weissklee (Ganzpflanze: 23.4 %, Blattmasse: 26.0 %), Rotklee (Ganzpflanze: 21.7 %, Blattmasse: 26.0 %) oder der Luzerne (Ganzpflanze: 24.4 %, Blattmasse: 28.0 %) (Hoischen-Taunber und Sundrum, 2016). Die Gehalte an NEL der Brennnesselpflanzen variieren zwischen 4.77 und 5.24 MJ/kg TS und sind entsprechend tiefer als diejenigen der vorgängig erwähnten Futterleguminosen.

Schlussfolgerungen

Die RP-Gehalte der Brennnessel sind im Stängel erwartungsgemäss tief, erreichen jedoch in den Blättern einen Gehalt von bis zu 30 % und in der Ganzpflanze Gehalte von 22 bis 26 %. Damit ist der Futterwert bezüglich RP vergleichbar mit Rotklee- oder Luzerne. Die Werte für MJ NEL liegen jedoch bedeutend tiefer.

Referenzen

- Bross-Burkhardt, B. (2015). Lob des Unkrauts. Wilde Pflanzen in Garten und Stadt - nützlich und schön. Haupt Verlag, Bern, 208 S.
- Edmunds, B., Südekum, K.-H., Spiekers, H., Schuster, M., Schwarz, F.J. (2012): Estimating utilisable crude protein at the duodenum, a precursor to metabolisable protein for ruminants, from forages using a modified gas test. *Anim. Feed Sci. Technol.* **175**: 106-113
- Hoischen-Taubner, S., Sundrum, A. (2016): Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee. Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften Fachbereich Tierernährung und Tiergesundheit, Witzenhausen, 20.07.2016
- Loetscher, Y., Kreuzer, M., Messikommer, R.E. (2013). Oxidative stability of the meat of broilers supplemented with rosemary leaves, rosehip fruits, chokeberry pomace, and entire nettle, and effects on performance and meat quality. *Poult. Sci. J.*, **92**: 2938-2948
- Menke, K.H., Steingäß, H. (1988): Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* **28**: 7-55.

Keimfähigkeit von Samen der Graugrünen Borstenhirse (*Setaria pumila*) in Grassilagen mit unterschiedlichem Trockensubstanzgehalt

C. Windlin, B. Reidy und S. Ineichen

BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), 3052 Zollikofen, Schweiz

Kontakt: Simon Ineichen, simon.ineichen@bfh.ch

Einleitung

Die weltweit verbreitete Graugrüne Borstenhirse (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. et Schult) ist Wiesen und Weiden ein bedeutendes Unkraut. Die Pflanze etabliert sich aufgrund der zunehmenden Sommertrockenheit nicht nur in trockenen lückigen Flächen, sondern zunehmend auch in intensiv geführten Beständen. Gleichzeitig erschwert die Toleranz der Borstenhirse gegenüber vielen hemmenden Herbiziden, mechanischen Schäden und Trockenheit seine Bekämpfung (Dekker et al., 2003). Ein gehäuftes Vorkommen der Graugrünen Borstenhirse wurde in Nidwalden dokumentiert. Das im Jahr 2016 gestartete Beratungsprojekt des Kantons «Klima- und standortangepasste Bewirtschaftung gegen Problempflanzen im Grünland» soll Wissen zur Bekämpfung der Problempflanze generieren, den Borstenhirsebesatz im Grasland reduzieren und ihre weitere Ausbreitung verhindern. Verbreitet werden die Samen sowohl via Futtertransport und überbetrieblichen Maschineneinsatz als auch durch Nutztiere, Vogelzüge und Wasser (Orlandi et al., 2015). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine mögliche Verbreitung von Borstenhirsesamen über Grassilageballen untersucht.

Material und Methoden

Die Keimfähigkeit von Borstenhirse (gesammeltes Saatgut, Allmend Buochs, NW) wurde in Grassilageballen mit unterschiedlichem TS-Gehalt [tief: 38.4 % (nicht aufbereitet) bzw. hoch: 56.0 % (aufbereitet), je 3 Ballen pro Variante] untersucht. Das einsilierte Futter stammte aus einem Frühlingsaufwuchs mit über 90 % Gräseranteil eines raigrasfähigen Standortes in Buochs (Kanton NW). In jeder Silageballe wurden 5 Nylonsäckchen (Ankom R1020, 10 cm x 20 cm, 50 µm) mit je 80 Borstenhirsesamen eingesetzt. Die 5 Säckchen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten aussiliert (nach 5, 10, 20, 30 oder 40 Tagen), um die Abnahme der Keimfähigkeit über die Zeit zu eruieren. Dazu wurden in jeder Balle 5 Einstichstellen von 25 cm Tiefe und einem Durchmesser von 7.5 cm ausgestochen. Der Abstand zwischen den einzelnen Probenlöchern betrug mindestens 30 cm. Die nach dem

Einsetzen wieder mit Grassilage verschlossenen Stellen wurden mit Propionsäure gegen Fehlgärungen und Nacherwärmungen behandelt. Die Ballen wurden während des Experiments stehend gelagert. Die Nährstoffzusammensetzung der Silagen wurde nass-chemisch analysiert (DairyOne, New York, USA) durchgeführt.

Nach dem Aussilieren der einzelnen Säckchen wurden je 40 Samen mit Wasser gespült bzw. mit 2 % NaClO (Natriumhypochlorit) Oberflächensterilisiert, um die Wirkung unerwünschter mikrobieller bzw. säurebedingter Einflüsse auf die Keimfähigkeit zu eruieren. Die Keimfähigkeitsprüfung der Samen wurde in einem Klimaschrank der Marke Fitotron® (Typ HGC) durchgeführt. Die Einstellungen richteten sich nach den Vorgaben von Dowsett et al. (2018), sowie den Angaben einer früheren Arbeit von Kohler (2018). Als «gekeimt» wurden Samen eingeordnet, sobald deren erstes Blatt (grünlich gefärbt) aus der Koleoptile (weisslich gefärbt) hervorgegangen und sichtbar war (gemäss Vorgaben der International Seed Testing Association, Don et al., 2013). Nebst den aussilierten Samen wurden auch solche, die nicht einsiliert wurden vor der Auslagerung zum Zeitpunkt 5d auf ihre Keimfähigkeit hin untersucht. Dies diente der generellen Prüfung einer nicht durch die Gärung in der Grassilage bedingten Keimfähigkeitsabnahme. Die Analyse der Daten erfolgte mittels RStudio (v1.4).

Ergebnisse und Diskussion

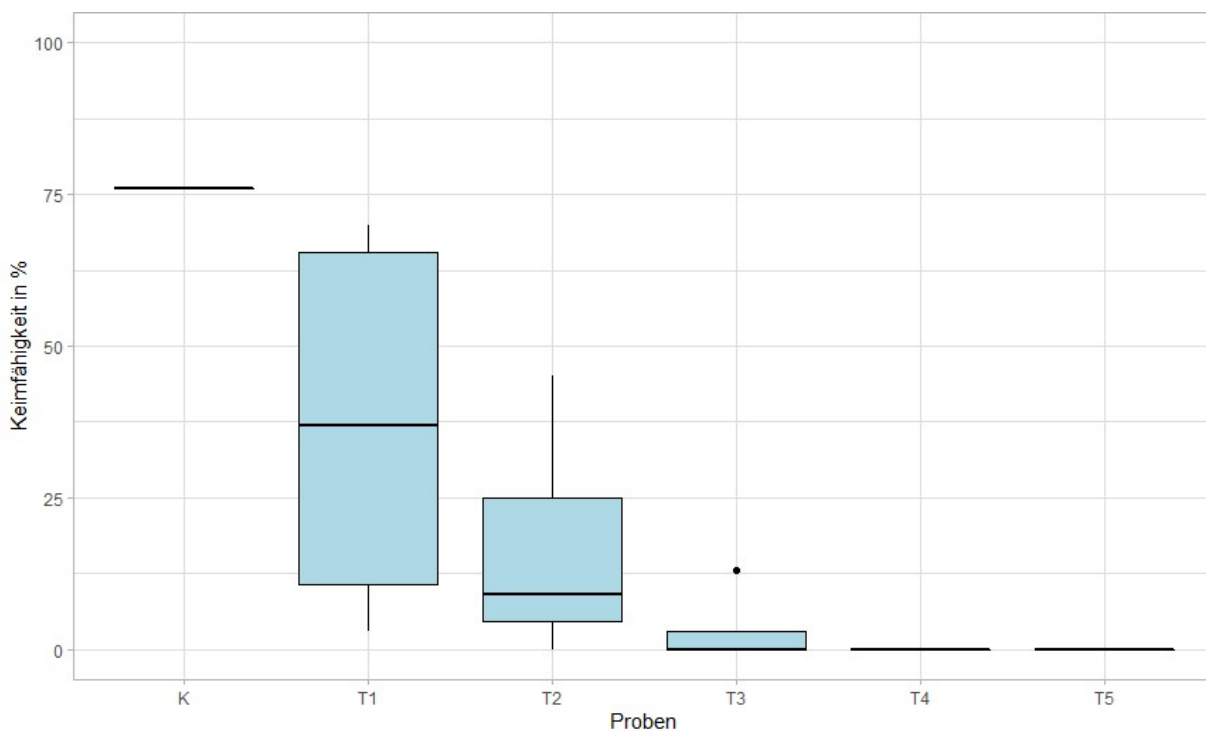


Abbildung 1: Keimfähigkeit in % der Kontrolle (K) und in Relation zum Auslagerungszeitpunkt T1-T5 (5, 10, 20, 30 und 40 Tagen).

Die Qualität der Grassilagen war als sehr gut einzustufen (> 6 MJ NEL, > 250 g wasserlöslichen Zucker, $132 - 151$ g RP, < 100 g Rohasche pro kg TS). Fehlgärungen oder Mängel wurden nicht festgestellt. Die Variation der Gehalte an TS (tief, hoch) und die damit einhergehenden Unterschiede in der Gärintensität zeigten keine Einflüsse auf die Keimfähigkeit ($P > 0.05$). Auch die Desinfektion mit NaClO veränderte die Keimfähigkeit nicht ($P > 0.05$). Die Silierdauer steht in Korrelation mit einer deutlichen Abnahme der Keimfähigkeit bis zu 20 Tagen nach dem Einsilieren; nach 30 Tagen war die Keimfähigkeit vollständig reduziert (Abbildung 1). Auch Kohler (2018) eruierte in einem ähnlichen Experiment unter Laborbedingungen, dass die Keimfähigkeit der Borstenhirse Samen nach einer Gärdauer von 6 Wochen vollständig reduziert ist.

Schlussfolgerungen

Sowohl die Oberflächensterilisation der Samen der Graugrünen Borstenhirse vor der Keimprüfung, als auch die Variation des TS-Gehaltes der Grassilagen beim Einsilieren zeigten im vorliegenden Versuch keine Einflüsse auf die Keimfähigkeit. Nach einer Gärdauer von 10 Tagen lag die Keimdauer der Samen bei weniger als 20 % und war nach 30 Tagen vollständig reduziert. Daraus kann gefolgert werden, dass bei einer ordentlichen Silierdauer von mindestens 6 Wochen eine Verbreitung von keimfähigen Borstenhirse Samen durch Grassilagen unwahrscheinlich ist.

Referenzen

- Dekker, J. (2003): The foxtail (*Setaria*) species-group. *Weed Science*, **51**: 641-656
- Don, R., Kahlert, B., McLaren, G. (2013): ISTA Handbook on Seedling Evaluation, 3rd edition, the International Seed Testing Association, Bassersdorf
- Dowsett, C.A., Buddenhagen, C., James, T. K., McGill, C.R. (2018): Yellow bristle grass (*Setaria pumila*) germination biology. *New Zealand Plant Protection*, **71**: 72-84
- Kohler, A. (2018): Untersuchung zur Bekämpfung der Graugrünen Borstenhirse (*Setaria pumila*): Einfluss der Silierung und der Gülle auf die Keimfähigkeit der Graugrünen Borstenhirse. Semesterarbeit, 34 S. Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Zollikofen
- Orlandi, S., Nucera, E., Mosimann, E., D'Adda, G., Garzoli, D., Bertossa, M., Lonati, M., Lombardi, G. (2015): Drivers of *Setaria pumila* (Poir.) Roem. et Schult growth and impact on forage quality in low-land Switzerland meadows. *Grass Forage Sci.* **72**: 154-162.

Erträge, Gehalte und Silagequalität von Mais-Bohnen-Gemischen

U. Wyss¹, D. Martin² und A. Zemp³

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, 1725 Posieux, Schweiz

²Proconseil, 510 Moudon, Schweiz

³Bildungszentrum Wallierhof, 4533 Riedholz, Schweiz

Kontakt: Ueli Wyss, ueli.wyss@agroscope.admin.ch

Einleitung

Der Anbau eines Mais-Bohnen-Gemischs könnte eine Alternative zum konventionellen Silomaisanbau sein. Die Bohnen nutzen die Maispflanzen als Stütze und steigern den Proteingehalt in der Silage, da die gesamte Bohnenpflanze einen rund doppelt so hohen Proteingehalt hat wie der Mais. Zudem gehören Bohnen zu den Leguminosen und haben somit die Fähigkeit, mit Knöllchenbakterien Stickstoff zu fixieren. Dieser Stickstoff steht dem Mais oder später der Folgekultur zur Verfügung. Im Weiteren wachsen die Bohnen schneller als der Mais, dadurch wird das Unkraut besser unterdrückt und das Erosionsrisiko kann gesenkt werden. In den letzten Jahren wurden in der Schweiz verschiedene Versuche mit einem Mais-Stangenbohnen- oder Mais-Helmbohnen-Gemisch durchgeführt. Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse von diesen Untersuchungen vorgestellt.

Material und Methoden

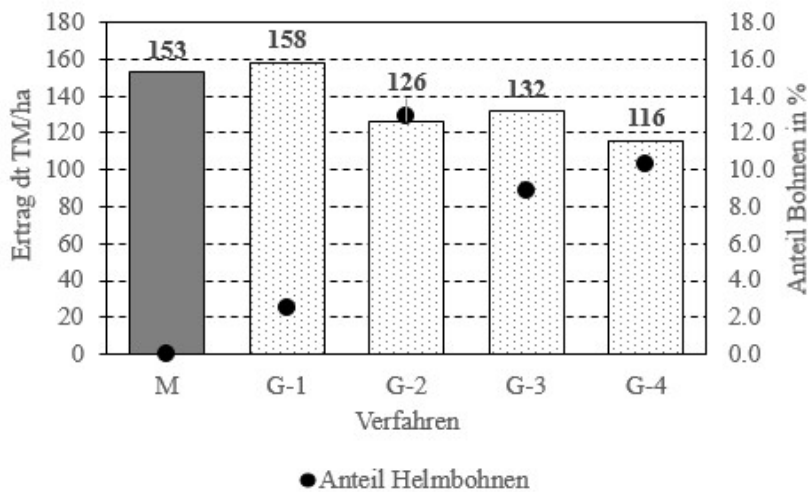
In den Jahren 2017 - 2019 führte das Forum Ackerbau an verschiedenen Standorten in der Schweiz Streifenversuche mit Mais-Stangenbohnen-Gemischen durch (Zemp, 2019). Dabei wurden Mais-Bohnen Verfahren mit Mais in Reinsaat bezüglich TS-Erträgen, Inhaltsstoffen und Gärqualität verglichen. In den Jahren 2016 und 2017 wurden mit dem Erntegut zusätzlich Silierversuche durchgeführt (Wyss *et al.*, 2019). Das Futter von einem Standort wurde in Rundballen und auch in Laborsilos mit 1.5 Liter Inhalt einsiliert. Speziell wurden, neben Ertragserhebungen und Analysen zuden Anteile an Mais und Helmbohnen wurden gesät und das Erntegut in Laborsilos einsiliert (Martin, 2020).

Ergebnisse und Diskussion

Im Durchschnitt über alle Standorte lag der Trockensubstanzertrag mit den Mais-Stangenbohnen-Gemischen in allen drei Jahren tiefer als die Reinsaat Mais. 2017 betrug die Ertragsdifferenz 18 %, 2018 16 % und 2019 13 % (Zemp, 2019). Der Anteil der Stangenbohnen am Mais-Bohnen-Gemisch betrug zwischen 8 und 18 % bezogen auf die Trockensubstanz.

Der Trockensubstanzertrag war auch bei den Mais-Helmbohnen-Gemischen tiefer als beim reinen Maisbestand (Abb. 1, Martin, 2020). Der Anteil der Helmbohne am Gemisch variierte je nach Saatenmengen zwischen 3 und 13 % bezogen auf die Trockensubstanz.

Bezüglich den Inhaltsstoffen wiesen die Gemische mit Stangenbohnen und insbesondere die mit Helmbohnen höhere Rohproteingehalte als der Silomais auf (Tab. 1). Wird die Rohproteinproduktion pro Fläche verglichen, wurden auf den Parzellen mit reinem Silomaisanbau bedingt durch die höheren Erträge mehr Protein produziert. Die berechneten NEL-Gehalte pro Trockensubstanz der Bohnen und des Mais-Bohnen-Gemischs waren etwas tiefer als die der Maispflanzen.



Verfahren	Körner pro ha	
	Mais	Bohnen
M	100'000	
G-1	100'000	33'000
G-2	50'000	50'000
G-3	66'000	33'000
G-4	66'000	66'000

Abb. 1. Trockensubstanzerträge pro Jahr von Mais in Reinkultur im Vergleich zu Mais-Helmbohnen-Gemischen und Anteil der Helmbohnen am Gemisch.

Tab. 1. Inhaltsstoffe des Ausgangsmaterials mit Stangen- oder Helmbohnen von 2016 und 2019 (Mittelwerte und Standardabweichungen).

		Material 2016			Material 2019		
		Mais	Stangenbohnen	Mischung	Mais	Helmbohnen	Mischung
Anzahl Proben		2	1	2	3	12	12
Trockensubstanz	%	41.4 +/- 0.5	27.6	36.7 +/- 0.1	38.3 +/- 5.3	18.3 +/- 1.0	37.2 +/- 2.7
Rohprotein	g/kg TS	65 +/- 1	145	72 +/- 2	85 +/- 3	173 +/- 32	92 +/- 8
Rohfaser	g/kg TS	173 +/- 1	163	209 +/- 21	161 +/- 14	274 +/- 19	172 +/- 12
Rohasche	g/kg TS	29 +/- 1	67	39 +/- 5	36 +/- 5	114 +/- 14	40 +/- 7
ADF	g/kg TS	209 +/- 2	187	260 +/- 37	204 +/- 12	311 +/- 27	216 +/- 16
NDF	g/kg TS	400 +/- 15	279	416 +/- 38	370 +/- 13	429 +/- 26	391 +/- 23
Zucker	g/kg TS	77 +/- 3	71	68 +/- 5	46 +/- 10	76 +/- 18	43 +/- 6
Stärke	g/kg TS	391 +/- 5	303	331 +/- 67	389 +/- 40	79 +/- 30	370 +/- 42
NEL	MJ/kg TS	6.9 +/- 0.1	6.7	6.8 +/- 0.1	6.9 +/- 0.1	5.2 +/- 0.4	6.8 +/- 0.2

Die im Versuch 2016 verwendete Stangenbohnenart (Anellino Giallo) wies einen Phasingehalt von 16 mg/g Futter auf. Die im zweiten Versuchsjahr verwendete Stangenbohnenart (WAV 512) wies mit 0.94 mg/g Futter einen wesentlich tieferen Phasingehalt auf (Wyss *et al.*, 2019). Nach Brugger *et al.* (2016) schwanken die Phasingehalte in den Bohnen je nach Sorte sehr stark. Durch den Silierprozess wurden die Phasingehalte leicht abgebaut (Wyss *et al.*, 2019). Auch die Samen und Hülsen der Helmbohnen sind im rohen Zustand giftig, da sie cyanogene Glykoside enthalten.

Die Silagen mit den Mais-Gemischen mit Stangen- und Helmbohnen wiesen tiefe pH-Werte und ein ähnliches Gär säuremuster wie die reinen Maissilagen auf (Tab. 2). Insgesamt waren die Silagequalitäten gemäss den DLG-Punkten sehr gut.

Tab. 2. Gärparameter der Silagen von 2016 bis 2019 (Mittelwerte und Standardabweichungen).

		Stangenbohnen				Helmbohnen	
		Silagen 2016		Silagen 2017		Silagen 2019	
Verfahren		Mais	Mischung	Mais	Mischung	Mais	Mischung
Anzahl Proben		3	4	2	6	3	12
Trockensubstanz	%	40.4 +/- 0.3	37.3 +/- 0.9	42.0 +/- 0.2	39.5 +/- 0.5	37.9 +/- 4.9	38.1 +/- 3.1
pH-Wert		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Milchsäure	g/kg TS	46 +/- 3.4	62 +/- 6.0	46 +/- 0.6	59 +/- 2.5	60 +/- 3.0	66 +/- 5.8
Essigsäure	g/kg TS	11 +/- 0.8	14 +/- 1.8	10 +/- 1.1	11 +/- 0.6	13 +/- 1.7	14 +/- 1.8
Propionsäure	g/kg TS	0	0	0	0	0	0
Buttersäure	g/kg TS	0	0	0	0	0	0
Ethanol	g/kg TS	16 +/- 1.2	9 +/- 1.6	11 +/- 2.5	5 +/- 0.5	9 +/- 2.7	9 +/- 2.8
DLG Punkte		100	100	100	100	100	100

Schlussfolgerungen

Die Mais-Bohnen-Gemische führten im Vergleich zum Silomais-Reinbestand zu tieferen Trockensubstanzerträgen pro Fläche. Die Proteingehalte bei den Stangen- und Helmbohnen sind höher als beim Silomais. Beim Bohnen-Mais-Gemisch konnte jedoch der Proteingehalt nicht wesentlich erhöht werden. Wenn Stangenbohnen mit tiefen Phasingehalten verwendet werden, sollte es bei der Verfütterung keine Probleme geben. Für die Verwendung in der Praxis wird deshalb der Anbau von Stangenbohnenarten mit tiefen Phasingehalten empfohlen. Bei den Helmbohnen ist nicht bekannt, was mit den cyanogenen Glykosiden während dem Silierprozess passiert.

Literaturverzeichnis

- Zemp, A. (2019): Mais-Bohnen Mischanbau – Forum Ackerbau Versuchsbericht 2019, S. 51-60. Versuchsbericht_2019.pdf (forumackerbau.ch)
- Wyss, U., Enggist A. und Brugger D. (2019): Mischkulturen für Tierfutter: Mais-Stangenbohnen-Gemisch und Phasingehalt. Agrarforschung Schweiz **10**(5): 190-197
- Martin, D. (2020): Conseils de mise en place pour l'association maïs lablab. Agri **17**: 17
- Brugger, D., Buffler, M., Windisch, W. und Bolduan, C. (2016): Untersuchungen zum antinutritiven Potential von Gartenbohnen (*Phaseolus vulgaris*). VDLUFA-Schriftenreihe **73**: 500-507.

Determination of suitable indicators for the proportion of grassland-based feeds in the diets of dairy cows

A. Birkinshaw¹, M. Sutter², B. Reidy², L. Jungo³, S. Müller³, M. Kreuzer¹ and M. Terranova¹

¹ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Universitätstrasse 2, 8092 Zürich, Schweiz

²Swiss College of Agriculture, Berne University of Applied Sciences, Laenggasse 85, 3052 Zollikofen, Switzerland

³SuisseLab AG, Schützenstrasse 10, 3052 Zollikofen, Switzerland

Contact: Amy Birkinshaw, amy.birkinshaw@usys.ethz.ch

Consumers are opting for more sustainable, locally produced, environmentally friendly consumables while many governments, particularly those in grassland-dominated regions, are financially rewarding farmers for grass-based feeding of dairy cows. The Swiss government introduced the voluntary grass-based meat and milk production system (GMF) in 2014 to financially encourage farmers to reduce reliance on concentrate-based diets and encourage grass-based feeding (FOAG, 2021). This introduces the need for easy to implement, cost effective controls. Milk from grass-fed cows has a slightly different composition to milk from cows produced by alternative feeding systems. Grass-fed cows have increased proportions of specific fatty acids, including n-3 and higher amounts of certain vitamins such as β -carotene in their milk, this causes slight colour differences in milk (Allothman et al., 2019).

An experiment was carried out which aimed to systematically evaluate these three groups of potential biomarkers for their suitability to determine the proportion of grass (grass silage plus grass hay) in dairy cow diets. We fed 24 dairy cows 24 different diets, increasing in grass silage (from 50 – 100%) and concomitantly decreasing in maize silage. Twelve cows received grass silage and hay harvested in 2018 and 12 received a 2019 harvest. This was done to exclude storage duration bias. Using regression analysis, we were able to identify suitable milk biomarkers capable of predicting the amount of grass in the dairy cow's diet. The most reliable predictors for the proportion of grass consumed were proportions of α -linolenic acid and total n-3 fatty acids in milk fat and the n-6:n-3 fatty acid ratio as measured with gas chromatography. More practical indicators are the polyunsaturated fatty acid proportion of the milk fat as calculated from mid infra-red spectra at SuisseLab based on equations developed by the MilkoscanTM producer (Foss). Also indicative of dietary grass consumption was the spectrophotometer measured negative a* (green) colour space. The more grass-silage cows

consumed, the greener their milk became. Our results reveal that the milk of dairy cows receiving a 75% grass-based diet should contain at least 0.633 and 0.847 g of α -linolenic and total n-3 fatty acids/100 g total fatty acids, respectively, and an n-6:n-3 fatty acid ratio of less than 2.06. Mid infrared calculated polyunsaturated fatty acid values should be above 3.15 g/100 g and the negative a* colour space should be below -6.391. Dietary β -carotene increased linearly with increasing proportions of grass-silage but was not transferred to the milk in a similar fashion. Therefore it was surprising to find that milk from the 2019 harvest contained more β -carotene per mg milk fat than the 2018 harvest as this parameter demonstrated clear dietary differences. In conclusion, polyunsaturated fatty acids as calculated with mid-infrared spectroscopy combined with the milk a* colour space may be the easiest to implement control for determining the proportion of grass in a dairy cows' diet during routine milk analyses. These data should be regularly validated with laboratory analysis of identified key fatty acids.

References

- Federal Office for Agriculture (FOAG) (2021): Graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/produktionssystembetrage/beitrag-fuer-graslandbasierte-milch--und-fleischproduktion.html> (accessed on 30 March 2021)
- Alothman, M., Hogan, S.A., Hennessy, D., Dillon, P., Kilcawley, K.N., O'Donovan, M., Tobin, J., Fenelon, M.A and O'Callaghan, T.F. (2019): The grass-fed milk story: Understanding the impact of pasture feeding on the composition and quality of bovine milk. *Foods*. **350**: 1–24. <http://doi.org/10.3390/foods8080350>.

Relationship between the sum of temperatures and forage yield and quality of the first growth cycle in intensively managed Swiss permanent grasslands

P. Mariotte¹, E. Perotti¹, O. Huguenin-Elie², P. Calanca³, D. Frund¹ and M. Probo¹

¹Grazing Systems, Agroscope, 1260 Nyon, Switzerland

²Forage Production and Grassland Systems, Agroscope, 8046 Zurich, Switzerland

³Climate and Agriculture, Agroscope, 8046 Zurich, Switzerland

Contact person: Pierre Mariotte, pierre.mariotte@agroscope.admin.ch

Permanent grasslands, accounting for almost 38% of agricultural areas in Europe, are mostly unfavorable for crop production and have been used for centuries as the main feed source for ruminant livestock. Considering the economic importance and acreage of intensively managed permanent grasslands, it is important to maximize the yield (*i.e.*, dry matter, DM) and quality of the forage they produce through optimized management. Forage quality refers to forage nutritive value and digestibility, typically determined by chemical analyses. Forage quality is influenced by several variables linked to the plant phenological stage, and thus plant morphology and leaf/stem ratio along the growing season (Bruinenberg et al. 2002). Due to the difficulties in estimating forage yield and quality across space and time, many studies attempted to determine easily obtainable proxies for forage yield and quality.

Temperature and precipitation are among the most important factors affecting forage yield and quality because they directly influence plant growth, community composition, nutrient concentration in plant tissues, and forage digestibility. Compared to all the other growth cycles, the first growth cycle is the most productive in permanent grasslands. During the first growth cycle, temperature seems to be the most important factor affecting forage yield and quality, since precipitation and soil moisture remain relatively high at the end of winter and beginning of spring and are thus less limiting for plant growth (Perotti et al. 2021). Previous studies performed by INRA (National Institute for Agronomic Research) in France highlighted the role of the sum of temperature as important driver of plant phenological stage and forage yield during the first growth cycle (Ansquer et al., 2004). Moreover, other research carried out in France, identified six main functional types of permanent grasslands depending on the dominance of grass species that are characterized by different precocity (Cruz et

al., 2010). The sum of temperatures, which is freely and easily real-time available each year on meteorological websites (e.g., www.agrometeo.ch), has thus been used as a good proxy for estimating forage yield, but the validity of this index across various grassland types and climatic conditions remain unclear. Furthermore, despite the well-known negative correlation between forage quality and yield, direct links between the sum of temperatures and forage quality have been poorly investigated. The goal of our experiment was therefore to highlight the relationship between the sum of temperatures and both forage yield and quality in intensively managed permanent grasslands in Switzerland. Specifically, the study aims to answer the two following questions: i) Is there a significant relationship between the cumulated sum of temperature and forage yield and quality during the first growth across different grassland functional types? ii) What is the number of degree days at which forage should be harvested to optimize yield and quality in intensively managed grasslands in Switzerland?

We conducted the present experiment during 3 years (2017, 2018, 2019) in 23 intensively managed permanent grasslands across Switzerland, covering a wide gradient of climatic conditions, altitude, soil features, and relative abundance of plant functional groups. To emphasize the role of botanical composition, we classified the grasslands into 4 types (A, AB-BA, bA-Ab, Bb-bB) based on the dominance of the six main functional types of grasses (Cruz et al. 2010). Grasslands classified as 'A' are dominated by *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, and *Poa trivialis*, 'AB-BA' by *L. perenne*, *Poa pratensis*, and *Dactylis glomerata*, 'bA-Ab' by *L. perenne*, *P. trivialis*, *L. multiflorum*, and *P. pratensis* and 'Bb-bB' by *P. trivialis*, *D. glomerata*, *P. pratensis*, *L. perenne*, *Agrostis capillaris*, and *Elymus repens*. We calculated the cumulated sum of temperature (growing degree days, GDD) following the method developed at INRA (Theau and Zerourou 2008). Briefly, the cumulated sum of temperature is calculated with daily mean temperatures $> 0^{\circ}\text{C}$ from February 1st and only degrees between 0 and 18°C are taken into account because daily mean temperatures higher than 18°C do not further accelerate growth. Within each site, four replicated plots of 1 x 5 m were established in 2017 and managed using common, intensive cutting practices (*i.e.*, 4-6 harvests/year). At each site, forage cut was set at 6 cm aboveground level. Forage was harvested every 2 weeks in different plots from the beginning of the vegetation growth (*i.e.*, plot 1 harvested at 2 weeks, plot 2 harvested at 4 weeks, plot 3 harvested at 6 weeks and plot 4 harvested at 8 weeks), corresponding to 4 successive harvests during the first growth cycle. The beginning of the vegetation growth was defined at a thermal sum of 200 growing degrees day (GDD). Harvested forage samples were dried, weighed and analyzed for protein content and fibers, which then allowed estimating forage digestibility, net energy for milk

production (NEL) and absorbable proteins by intestine from degraded nitrogen matter (PAIN). Relationships between degree days and forage yield, protein content, digestibility, NEL, PAIN were then determined for the 3 years and the 4 grassland types, together and separately.

Forage yield of the first mowing of the year (*i.e.*, harvest at 8 weeks) showed strong variability across the 23 grassland sites ranging from 21.7 to 66.1 dtDM.ha⁻¹, thus well representing the different growing conditions across Switzerland. Forage yield was strongly positively correlated to GDD for the three years of the experiment ($R^2 = 0.86$ in 2017, $R^2 = 0.93$ in 2018, $R^2 = 0.94$ in 2019) and the 4 different grassland types (grassland of type A: $R^2 = 0.90$; type AB-BA: $R^2 = 0.90$; type bA-Ab: $R^2 = 0.92$; type Bb-bB: $R^2 = 0.91$). The relationship between yield and GDD was slightly different among years and grassland types. Indeed, the same forage yield was achieved 50 GDD earlier in 2018 compared to 2017 and 2019. Furthermore, type AB-BA, bA-Ab and Bb-bB grasslands showed different regression curves compared to type A, with about 100 GDD extra needed to achieve the same yield than type A grasslands. Altogether, including the three years and the four grassland types, we found an excellent average relationship between forage yield and degrees day ($R^2 = 0.91$). Overall, mowing intensively managed permanent grasslands between 650 and 750 GDD provide between 37.6 and 46.7 dtDM.ha⁻¹ on average. Farmers aiming to maximize forage yield during the first growth cycle should consider that waiting other 100 GDD after that threshold could provide on average additional 9.1 dtDM.ha⁻¹ (*i.e.*, 850 GDD = 55.8 dtDM.ha⁻¹).

Forage digestibility, protein content, NEL and PAIN were strongly negatively correlated to degrees day for the three years of the experiment and the four different grassland types. Similar regression curves were observed among years and grassland types. Altogether, including the three years and the four grassland types, we found an excellent average relationship between degrees day and forage digestibility ($R^2 = 0.89$), protein content ($R^2 = 0.86$), NEL ($R^2 = 0.91$) and PAIN ($R^2 = 0.86$). Overall, mowing intensively managed permanent grasslands between 650 and 750 degrees day corresponds to forage digestibility ranging from 76.3 to 73.7%, protein content ranging from 146.6 to 125.2 g.kg⁻¹, NEL ranging from 6.2 to 6.0 MJ, and PAIN ranging from 97.4 and 82.9 g. Farmers aiming to maximize forage quality during the first growth cycle should consider that waiting another 100 GDD after that threshold (*i.e.*, at 850 GDD) could on average reduce digestibility to 71.1%, protein content to 103.8 g.kg⁻¹, NEL to 5.7 MJ and PAIN to 68.4 g.

Findings from our study show that farmers have to clearly define their priority (*i.e.*, forage yield or quality) in order to decide on the cutting time for a given forage yield and quality threshold. Overall, our results suggest that the optimal cutting time to obtain good forage biomass production having high digestibility and quality levels during the first growth cycle in intensively managed permanent grasslands would be situated between 650 and 750 degrees day. These results are quite different from those obtained in French permanent grasslands since results from INRA suggest that harvest for the first growth cycle should occur between 800 (early hay harvest) and 1200 degrees day (flowering hay). This might be related to both differences in the characteristics of the ecotypes of the dominant grass species (*e.g.*, different precocity depending on the adaptation to specific pedo-climatic conditions) and to differences in local management practices, with delayed cuttings aiming to maximize forage yield and early cutting to maximize forage quality.

References

- Ansquer, P., Theau, J.P., Cruz, P., Viegas, J., Al Haj Khaled, R., Duru, M. (2004): Caractérisation de la diversité fonctionnelle des prairies à flore complexe : vers la construction d'outils de gestion. *Fourrages* **179**: 353-368
- Bruinenberg, M.H., Valk, H., Korevaar, H., Struik, P.C. (2002): Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass Forage Science* **57**: 292-301
- Cruz, P., Theau, J.-P., Lecloux, E., Jouany, C. and Duru, M. (2010): Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multitraits. *Fourrages* **201**: 11-17
- Perotti, E., Huguenin-Elie, O., Meisser, M., Dubois, S., Probo, M., Mariotte, P. (2021): Climatic, soil, and vegetation drivers of forage yield and quality differ across the first three growth cycles of intensively managed permanent grasslands. *European Journal of Agronomy* **122**: 126194
- Theau, J.-P. and Zerourou, A. (2008): Herb'âge, une méthode de calcul des sommes de températures pour la gestion des prairies. *Symposium international INRA-UMR AGIR (Agrosystèmes et développement territorial) : Outils pour la gestion des prairies permanentes*, Jul 2005, Castanet-Tolosan, France.

Wiesenschwein: Gesundes Fleisch von glücklichen Tieren

M. Müller Richli^{1,2}, E. Harms², M. Holinger³ und M. Scheeder^{1,2}

¹Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Suisag, 6204 Sempach, Schweiz

³FiBL, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 5070 Frick, Schweiz

Kontakt: Martin Scheeder, martin.scheeder@bfh.ch

Einleitung

Das Wiesenschwein-System ist ein neu entwickeltes Tierhaltungsverfahren, mit dem Tierwohl und Wirtschaftlichkeit näher zusammengebracht werden sollen. Dieses System nutzt modernste Technologien (u.a. Torsteuerung, RFID-Ohrmarken, Bilderkennungsverfahren), um den Schweinen ein Zeitfenster zum Ausleben natürlicher Verhaltensweisen wie Suhlen, Wühlen und Rennen in einem dafür ausgestatteten Areal zur Verfügung zu stellen. Durch die zeitliche Begrenzung kann das Areal von Tieren verschiedener Buchten abwechselnd und damit sehr effizient genutzt werden. Im Rahmen eines Innosuisse-Projektes werden verschiedene Aspekte dieses Systems untersucht und weiterentwickelt. Im vorliegenden Arbeitspaket wurde untersucht, wie sich der Zusatz von Leinsamen, Kräutern und Vitamin-E im Wiesenschwein-Futter in Kombination mit der Wiesenschwein-Haltung auf die Fleisch- und Fettqualität auswirken und ob es sensorisch wahrnehmbare Unterschiede zwischen einer Kontrollgruppe und der Wiesenschwein-Varianten gibt. Der Einsatz von Leinsaat als Futterkomponente kann den Anteil an Omega-3-Fettsäuren erhöhen (Müller Richli et al., 2019) und damit den ernährungsphysiologischen Wert des Fettes verbessern (Simopoulos, 2008; DACH, 2013)

Material und Methoden

Wurfgeschwister aus üblichen Mast-Kreuzungen wurden balanciert nach Geschlecht und Gewicht in zwei Gruppen aufgeteilt, von denen eine mit einem üblichen Futter ausgemästet wurde (Kontrolle, K). Die andere Gruppe erhielt das Futter mit den obengenannten Zusätzen (Wiesenschwein, WS). Beide Gruppen wurden im Wiesenschweinsystem gehalten, wobei nur die WS-Gruppe Zugang zum Wühl- und Weidebereich hatte. Pro Gruppe wurden 34 Tiere geschlachtet, wobei die Schlachtdaten auf tierindividueller Ebene erfasst wurden. Am Tag nach der Schlachtung wurden Probenstücke aus dem Karree (3. bis 5. Rippe von hinten) samt aufliegender Rückenspeck entnommen. Die Analysen erfolgten im Labor der Suisag in Sempach nach dem für die Leistungsprüfung etablierten Standard:

Fleisch- und Fettfläche, End-pH-Wert, Tropfsaftverlust (DL) und Kochverlust, Scherkraft, Fleischelligkeit und Pigmentgehalt sowie intramuskulärer Fettgehalt (IMF). Zusätzlich wurden im Rückenspeck von 12 ausgewählten Tieren pro Gruppe das Fettsäuremuster mittels Gaschromatographie und die Oxidationsstabilität mittels der Rancimat-Methode bestimmt. Am dritten Schlachttag wurde von jedem Tier zusätzlich eine entbeinte Schulter entnommen. Aus der Schulter wurde der dicke Bug (*Triceps brachii*, *TB*) entnommen und aus dem restlichen Magerfleisch zusammen mit dem Rückenspeck von jeweils 4 bis 5 Tieren, gepoolt nach Behandlung und Geschlecht, Hackfleisch mit einem Fettgewebeanteil von 15 % hergestellt. Daraus produzierte Hamburger-Patties mit je 30 g / Stück wurden bei 200 °C 14 min im Backofen zubereitet und sensorisch analytisch untersucht. Es wurden sowohl Hackfleisch-Proben mit als auch ohne Salzzugabe untersucht. Die sensorischen Analysen wurden mittels Dreieckstests mit einem analytischen Panel durchgeführt. Zusätzlich konnten die Testpersonen aromabedingte und texturbedingte Abweichungen in einem offenen Kommentarfeld festhalten. Die statistischen Analysen der Fleischqualitätsmerkmale erfolgten als Varianzanalysen mit dem Programm NCSS.

Resultate

Die Futterzusätze wirkten sich weder auf Schlachtkörperzusammensetzung noch Fleischqualität aus (Tab. 1). Der IMF lag bei beiden Gruppen im erwünschten Bereich. Auffällig war das tiefe pH-Niveau im LD und die vergleichsweise hohen Tropfsaftverluste. Im *TB* deuteten sich Unterschiede in der Scherkraft an, die zwar statistisch nicht signifikant waren, aber als Hinweis auf die stärkere Beanspruchung dieses Muskels durch die zusätzliche Bewegung der Wiesenschweintiere verstanden werden kann.

Tabelle 1: Ausgewählte Merkmale der Schlachtkörperzusammensetzung und Fleischqualität

	Wiesenschweine	Kontrolle	<i>p</i> (0.05)
Magerfleischanteil, AutoFom [%]	56.6	56.5	0.62
IMF <i>LD</i> [%]	2.13	2.06	0.52
IMF <i>TB</i> [%]	2.25	2.22	0.85
pH <i>LD</i>	5.25	5.28	0.12
pH <i>TB</i>	5.45	5.46	0.68
Tropfsaftverlust <i>LD</i> [%]	8.15	8.27	0.66
Scherkraft <i>LD</i> , 3d	37.1	38.7	0.25
Scherkraft <i>LD</i> , 10d	32.7	31.5	0.32
Scherkraft <i>TB</i> , 3d	39.0	35.0	0.17

LD: M. long. dorsi; TB: M. triceps brachii

Die erwarteten Veränderungen in der Fettzusammensetzung zeigten sich markant (Tab. 2). Durch den hohen Gehalt an α -Linolensäure (ALA, 18:3n-3) senkte der Einsatz von Leinsaat das n-6/n-3-Verhältnis in Fleisch und Fett der Wiesenschweine auf ein für Menschen gesundheitlich vorteilhaftes Niveau < 5 (DACH-Empfehlungen). Das Verhältnis von Arachidon- (ARA) zu Eicosapentaensäure (EPA) wurde verringert und der Anteil an ARA insgesamt gesenkt, wodurch die potenziell inflammatorische Wirkung der aus ARA intermediär synthetisierten Eicosanoide reduziert wird. Insgesamt war der Anteil an PUFA dabei so hoch, dass in der Schweiz bei einer gängigen Vermarktung der Schweine mit Abzügen für die Fettqualität zu rechnen wäre.

Tabelle 2: Merkmale der Fettqualität (GC-Analyse)

	Wiesen-	Kontrolle	<i>p</i> (0.05)
SFA [%]	36.7	37.5	0.21
MUFA [%]	47.0	49.7	<0.01
PUFA [%]	16.1	12.7	<0.01
Jodzahl [%]	72.5	66.3	<0.001
Induktionszeit [h]	2.73	3.35	<0.01
n-6/n-3	3	9.9	<0.001
α -Linolensäure (ALA) [%]	3.08	0.83	<0.001
Arachidonsäure (ARA) [%]	0.17	0.21	<0.001
ARA/EPA	3.33	15.3	<0.001

Durch den höheren Anteil an PUFA und insbesondere auch an ALA ergibt sich für das Fett der Wiesenschweine ein deutlich höheres Oxidationspotential. Der Zusatz an Vitamin E (und der Kräuter) konnte dies offenbar nicht (vollständig) kompensieren, wie aus der geringeren Oxidationsstabilität (Induktionszeit) des Fettes der Wiesenschweine ersichtlich ist (Tab. 2 und Abb. 1).

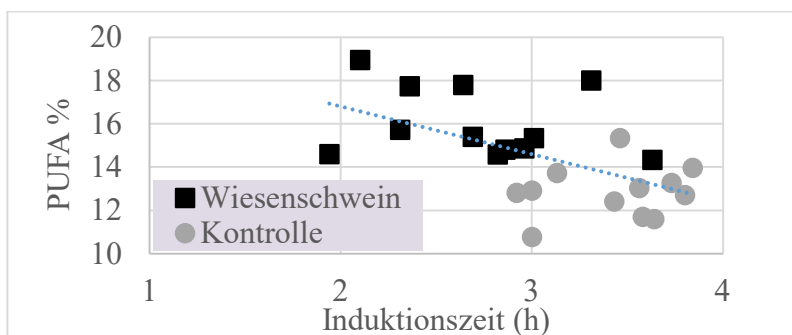


Abbildung 1: Abhängigkeit der Induktionszeit vom Gehalt der PUFA im Rückenspeck

Bei den sensorischen Analysen wurden keine texturbedingten Unterschiede beobachtet und einzig bei den weiblichen Tieren wurde beim Vergleich der gesalzenem Hackfleisch-Patties ein Unterschied zwischen Kontrolle und Wiesenschwein festgestellt (Tab. 3). Dabei ergaben sich aber keine deutlichen Hinweise auf aromabedingte Abweichungen, weder für die Kontroll- noch für die Wiesenschwein-Variante.

Tabelle 3: Ergebnisse aus den sensorischen Unterschiedsprüfungen (Dreieckstest mit Hackfleisch-Patties)

Vergleich	n	Richtig erkannt	p-Wert
mKos vs. mWos	29	14	0.07
fKos vs. fWos	28	12	0.19
mKs vs. mWs	30	10	0.57
fKs vs. fWs	30	16	0.02

m = männliche Tiere; f = weibliche Tiere; K = Kontrolle, W = Wiesenschwein; os = ohne Salz; s = mit Salz

Schlussfolgerungen

Die Fütterungsstrategie beim Haltungssystem «Wiesenschwein» bewirkt im Fleisch und Fett der Wiesenschweine eine für Menschen gesundheitlich vorteilhafte Zusammensetzung. Der Geschmack des Wiesenschweinfleisches wird dadurch nicht beeinträchtigt. Damit weist das neuartige Haltungssystem Wiesenschwein nicht nur Vorteile für das Tierwohl auf, sondern auch einen gesundheitlichen Mehrwert für die Konsumierenden.

Dank

Wir bedanken uns herzlich für die Unterstützung durch Oliver Hess und Laura Marty, Wiesenschwein AG, und durch die Bell AG sowie für die tatkräftige Mithilfe von Franz Studer bei unseren Untersuchungen in seinem Stall und nicht zuletzt auch für die finanzielle Unterstützung durch Innosuisse.

Literaturverzeichnis

DACH (2013): DACH-Referenzwerte. Abgerufen am 11.05.2017, <http://www.sge-ssn.ch/grundlagen/lebensmittel-und-naehrstoffe/naehrstoffempfehlungen/dachreferenzwerte/>

Müller Richli, M., Zurlinden, M., Harms, E., Giger, C., Stratz, P., Scheeder, M. (2019): Schweinefleisch: Wie Nähr- und Genusswert noch besser werden können. *Agrarforschung Schweiz*, **10**(4): 148-155

Simopoulos, A.P. (2008): The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental biology and medicine*, **233**(6): 674-688.

Frischfütterung von Esparsette oder Klee gras an Milchkühe: Methanproduktion und Leistungsmerkmale

A. Münger, L. Eggerschwiler und F. Dohme-Meier

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, 1725 Posieux, Schweiz

Kontaktperson: Andreas Münger, andreas.muenger@agroscope.admin.ch

Einleitung

Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) ist eine Futterleguminose, die sich von anderen in der Fütterung verwendeten Wiesenpflanzen besonders durch ihren erhöhten Gehalt an kondensierten Tanninen (KT) unterscheidet. Die KT besitzen die Fähigkeit an Proteine zu binden, was unter anderem den Effekt hat, dass diese dem mikrobiellen Abbau im Pansen des Wiederkäuers weniger ausgesetzt sind. Eine Studie mit Milchkühen, wo pelletierte Esparsette 16 % der Gesamtration ausmachte, zeigte, dass im Vergleich zur Verfütterung der gleichen Menge Luzerne die ruminale Ammoniakkonzentration, der Milchharnstoffgehalt und die Stickstoffausscheidung über den Harn gesenkt werden konnten. (Grosse Brinkhaus et al. 2016). Während die Wirkung von Esparsette auf den Proteinabbau im Wiederkäuer mehrfach bestätigt wurde (z.B. Azuhwi et al. 2013; Scharenberg et al. 2007a), liegen über die Wirkung der Futterleguminose auf die ruminale Methanproduktion widersprüchliche Resultate vor. Während Williams et al. (2011) *in vitro* einen methansenkenden Effekt der Esparsette im Vergleich zu Luzerne feststellten, konnten Grosse Brinkhaus et al. (2017) diesen Effekt nicht bestätigen. Verfüttert an Milchkühe in einer totalen Mischration (Anteil 30%) bewirkte Esparsettsilage im Vergleich zur Kontrollration mit Grassilage eine Verminderung der Methanproduktion pro kg Trockensubstanzaufnahme, hatte aber keinen Einfluss auf die tägliche Methanproduktion (Huyen et al. 2016). Nach unserem besten Wissen wurden in bisherigen Studien in erster Linie konservierte bzw. verarbeitete Esparsette (getrocknet, siliert, pelletiert) verwendet. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Konservierung die Struktur der KT verändern kann (Girard et al. 2020; Scharenberg et al. 2007b). Über die Wirkung von frischer Esparsette auf die Methanausscheidung von Milchkühen liegen bisher noch keine Untersuchungen vor, weshalb diese Fragestellung, nebst möglichen Einflüssen auf Verzehr und Leistung, Gegenstand der vorliegenden Studie war.

Material und Methoden

Sechzehn Milchkühe der Rassen Holstein/Red Holstein, erst- (6 Tiere) und mehrfachlaktierend (In der Vorversuchswoche, Mittelwert \pm Standardabweichung: Laktationstage 146 ± 6.1 ; Milchleistung 32.7 ± 6.1 kg/d; Lebendmasse 638 ± 71) wurden nach Laktationsnummer, -tag und Milchleistung in zwei homogene Gruppen eingeteilt. Die Gruppen wurden in zwei Abteilen im Boxenlaufstall mit Strohhackseleinstreu und Auslauf gehalten. Über zwei Versuchsperioden (Ende Juli – Anfang August und Mitte – Ende September 2017) mit je einer Adaptations- (9 - 11 d) und einer Erhebungsphase (7 d) wurden den Gruppen zwei unterschiedliche Grünfütterationen vorgelegt, die in der zweiten Versuchsperiode vertauscht wurden. Die Rationen bestanden aus täglich frisch geschnittenem Grünfütter *ad libitum* von einem Bestand einer Standardmischung (überwiegend Raigras und Rotklee, 2. Nutzungsjahr; Behandlung **GR**) oder einem Esparsette-Reinbestand (im Frühling des gleichen Jahres angelegt; Behandlung **ES**). Viehsalz und Mineralstoffmischung aus Leckschalen standen zur freien Verfügung.

Die Futterraufnahme wurde an individuellen Wiegetrögen (Insentec, Marknesse NL) täglich erfasst, der Gehalt an Trockensubstanz (TS) des Grünfütters an Tagesproben bestimmt. Die Milchleistung wurde für jedes Gemelk im Melkstand gemessen. Milchproben wurden bei jedem Gemelk genommen, in eine Tagesprobe pro Tier (2. Versuchsperiode an 5 von 7 Tagen) gepoolt und die Inhaltsstoffe mittels MIR-Analytik (LAAF, Grangeneuve CH) analysiert. Die individuelle Methanabgabe wurde mit Spotmessungen am Greenfeed-System (C-Lock, Rapid City USA) erfasst, wobei die Kühe pro 24h maximal 6 Besuche an der Station machen konnten, bei denen maximal 6 Portionen Lockfutter (je 30 g, Mais-Ganzpflanzenpellets) im Abstand von ca. 20 sec ausgelöst wurden, um die Tiere für eine gültige Messung ausreichend lange an der Messstelle zu halten. Je nach Besuchsverhalten nahmen die Kühe zwischen 0.5 und 1.3 kg Lockfutter pro Tag auf.

Für die statistische Auswertung der Daten (pro Tier über die Erhebungsperiode zusammengefasste Werte) wurde ein lineares Modell mit Periode und Ration als fixen Effekten und Berücksichtigung ihrer Interaktion gewählt (SYSTAT 13; Systat Software, San Jose USA).

Resultate und Diskussion

Aufgrund ungünstiger Wachstumsbedingungen und knapp bemessener Anbaufläche der Grünfütter, speziell der Esparsette, war der Abstand zwischen den beiden Versuchsperioden vergleichsweise gross. Zwischen den Versuchsperioden musste zeitweise die Grünfütterung ausgesetzt werden, da nicht genügend Futter nachgewachsen war. Der Grünfütterverzehr war in beiden Perioden (Per 1, 21.5 ± 3.2 kg/d; Per 2, 23.5 ± 5.2 kg/d) ähnlich ($P=0.11$). Die ES-Ration (23.7 ± 4.0 kg/d) wurde

tendenziell besser ($P=0.052$) gefressen als die GR-Ration (21.3 ± 4.4 kg/d) wobei der Unterschied in Periode 2 doppelt so hoch war wie in Periode 1. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Appetenz der Gras-Klee-Mischung wegen Pilzbefall und zum Teil stärkerer Erdverschmutzung beeinträchtigt war. Allerdings zeigte eine Untersuchung bei Schafen auch, dass die Schmackhaftigkeit von Esparsette im Vergleich zu einer Raigras-Klee-Mischung und anderen tanninhaltigen Pflanzen hoch war (Scharenberg et al. 2007b).

Die Milchproduktion unterschied sich zwischen den Perioden kaum (Per 1, 26.1 ± 4.4 ; Per 2, 25.4 ± 5.1 kg/d; $P=0.68$), auch nicht als energiekorrigierte Milch (ECM) ausgedrückt (Per 1, 25.7 ± 4.6 ; Per 2, 26.0 ± 4.9 kg/d; $P=0.85$). Dies war angesichts der fortgeschrittenen Laktation bemerkenswert, aber im Falle von Grünfütterung im Zusammenhang mit den jeweils aktuellen Wachstums- und Erntebedingungen und damit verbundenen Schwankungen der Qualität und Appetenz des vorgelegten Grünfutters zu interpretieren. Im Vergleich der Behandlungen war die Milchmenge identisch (25.8 ± 4.9 kg/d, $P=0.99$), und auch bei der ECM waren keine Unterschiede festzustellen (**ES** 26.1 ± 4.7 ; **GR** 25.5 ± 4.7 kg/d, $P=0.74$). Die Milchfettgehalte (**ES** 4.37 ; **GR** 4.21 %) waren aufgrund der grossen Variation (**ES** ± 0.64 ; **GR** ± 0.73) zwar numerisch aber nicht signifikant ($P=0.64$) unterschiedlich. Die Proteingehalte unterschieden sich nicht ($P=0.74$) zwischen den Behandlungen (**ES** 3.27 ± 0.26 ; **GR** 3.27 ± 0.34 %). Sie stiegen aber von Periode 1 (3.04 ± 0.19) zu Periode 2 (3.51 ± 0.26) deutlich an ($P<0.001$). Dies entspricht einerseits dem Laktationsverlauf, kann aber auch als ein Hinweis auf eine stärker limitierende Energieversorgung in der ersten Periode interpretiert werden.

Die tägliche Methanabgabe war ähnlich in den beiden Perioden (Per 1, 392 ± 76 ; Per 2, 409 ± 74 g/d; $P=0.43$). Hingegen lag sie für ES (373 ± 63 g/d) tiefer ($P=0.014$) als für GR (428 ± 77 g/d). Die Fütterung von Esparsette bewirkte folglich eine Reduktion um 13%. Ähnlich (um 15 %) präsentiert sich die Reduktion, wenn die Methanabgabe auf die Milchproduktion bezogen wurde (**ES** 14.5 ± 2.0 ; **GR** 17.0 ± 1.8 g/kg ECM, $P=0.001$); bezogen auf den Verzehr (**ES** 15.8 ± 1.3 ; **GR** 20.3 ± 2.1 g/kg TS, $P<0.001$) fiel sie noch höher aus (um 22 %).

Folgerungen

Die Verfütterung frischer Esparsette hatte in diesem Versuch im Vergleich zu einer Gras-Klee-Mischung bei Milchkühen einen methansenkenden Effekt, ohne die Milchleistung zu beeinträchtigen. Im Vergleich zu konservierten Formen von Esparsette war diese Wirkung eher zu erwarten, da nur minimale Verluste bei der hauptsächlich tanninhaltigen Blattmasse auftreten und durch den intensiveren Abbau des Frischfutters im Pansen auch die Tannin-Wirkung unmittelbarer sein könnte. Die Probleme, die mit Grünfütterung von Kühen verbunden sind und die zu beträchtlichen Schwankungen

in der Futterqualität führen können, lassen erwarten, dass die beobachteten Effekte unterschiedlich ausfallen können.

Literatur

Azuhnwi, B.N., Hertzberg, H., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Hess, H.D., Mueller-Harvey, I., Torgerson, P.R., Kreuzer, M., Dohme-Meier, F. (2013): Investigation of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) cultivar differences on nitrogen balance and fecal egg count in artificially infected lambs. *J. Anim. Sci.* **91**: 2343-2354

Girard, M.; Lehtimäki, A.; Bee, G.; Dohme-Meier, F.; Karonen, M.; Salminen, J.-P. (2020): Changes in Feed Proanthocyanidin Profiles during Silage Production and Digestion by Lamb. *Molecules*, **25**: 5887

Grosse Brinkhaus, A., Bee, G., Silacci, P., Kreuzer, M., Dohme-Meier, F. (2016): Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows. *J. Dairy Sci.* **99**:4384-4397

Grosse Brinkhaus, A., Wyss, U., Arrigo, Y., Girard, M., Bee, G., Zeitz, J.O., Kreuzer, M., Dohme-Meier, F. (2017): In vitro ruminal fermentation characteristics and utilisable crude protein supply of sainfoin and birdsfoot trefoil silages and their mixtures with other legumes. *Animal* **11**(4):580-590

Huyen, N. T, Desrues, O, Alferink, S. J., Zandstra, T., Verstegen, M.W., Hendriks, W.H. and W.F. Pellikaan (2016): Inclusion of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations affects nutrient digestibility, nitrogen utilization, energy balance, and methane emissions. *Journal of Dairy Science*, **99**: 3566-3577

Scharenberg, A., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Wyss, U., Hess, H.D., Kreuzer, M., Dohme, F. (2007a): Effect of feeding dehydrated and ensiled tanniferous sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on nitrogen and mineral digestion and metabolism of lambs. *Arch. Anim. Nutr.*, **61**(5), 390-405

Scharenberg, A., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Soliva, C.R., Wyss, U., Kreuzer, M., Dohme, F. (2007b): Palatability in sheep and in vitro nutritional value of dried and ensiled sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*), and chicory (*Cichorium intybus*). *Arch. Anim. Nutr.*, **61**(6), 481-496

Williams, C.M., J.-S. Eun, J.W. MacAdam, A.J. Young, V. Fellner and B.R. Min (2011): Effects of forage legumes containing condensed tannins on methane and ammonia production in continuous cultures of mixed ruminal microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 364-372.

The fate of condensed tannins from *Acacia mearnsii* in dairy cows fed different silages

G. Lazzari^{1,3}, A. Münger¹, S. Ampuero-Kragten², S. Schrade¹, M. Kreuzer³ and F. Dohme-Meier¹

¹Agroscope, Ruminant Research Group, 1725 Posieux and 8356 Ettenhausen, Switzerland

²Agroscope, Method Development and Analytics, 1725 Posieux, Switzerland

³ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, 8092 Zürich, Switzerland

Introduction

Condensed tannins (CT) are polyphenolic compounds that show propensity to bind to dietary compounds, especially proteins reducing their degradability and digestibility. In this context CT supplementation is interesting, for example, to reduce N urinary losses when ruminants are fed diets rich in rumen degradable protein (Carulla et al., 2005). The stability of the bond CT-compounds may influence the availability of the compounds after the excretion in both a positive or negative way, e.g. reducing the emission or the fertilizing potential of the manure. Furthermore, even though considered indigestible, it is not yet fully understood if the CT are modified during their passage through the gastrointestinal tract.

Material and methods

In order to investigate the fate of ingested CT in dairy cows by establishing a CT balance, we used data from three dietary treatments out of a larger study where the diets were supplemented with an extract rich in CT of *Acacia mearnsii* (Baeck GmbH & Co. KG., Norderstedt, Germany). The study was arranged as a 6 × 6 Latin square design using six multiparous dairy cows (mean ± SD: 36.6 ± 3.9 kg milk/d). Cows received subsequently one of six total mixed rations (TMR) at ad libitum access, which contained (on dry matter (DM) basis) 75% grass silage, 5% whole corn plants pellets, and 20% concentrate. The grass silages used were either ryegrass-rich (11.8% crude protein (CP); 41.9% neutral detergent fiber (NDF)) or red clover-rich (22% CP; 35.1% NDF) or sainfoin-rich (18% CP; 34.2% NDF). The concentrate contained either the CT enriched extract or straw meal, counting for 2% of the total diet. Each of the six experimental periods lasted for 21 d including a 14-d adaptation and a 7-d data collection period. During data collection periods, feed intake was recorded daily. Samples of TMR and feces were collected daily and pooled across each collection period. The CT content was determined using the HCl butanol method (Terril et al. 1992), which allows a distinction between

soluble, protein-bound and fiber-bound CT. The CT contents were expressed as cyanidine equivalents. Data were analyzed by linear mixed model with diet as fixed factor and cow and period as random factors.

Results and discussion

Cows receiving the red clover-rich diet (CR) had the highest DM intake, followed by cows fed the sainfoin-rich diet (SR) and by cows fed the ryegrass-rich diet (RR) ($P < 0.01$, table 1). Total CT intake and fecal excretion was greatest for SR, followed by CR and RR ($P < 0.001$). As expected, cows fed SR showed the greatest CT intake and excretion probably due to the additional CT contained in the sainfoin. More than 90% of the CT in RR and CR were soluble whereas only 69% were soluble in SR, which in turn had more protein-bound CT. In line with observations of Seoni et al. (2021) in sheep, the amount of total CT recovered in excreta were lower than those ingested across all silage types ($P < 0.001$).

However, excreted fiber-bound CT were greater than ingested across all silage types ($P < 0.001$) whereas excreted protein-bound CT were greater than ingested only for RR and CR but not for SR ($P < 0.001$).

Total CT excretion related to the total CT intake was similar across silage types ($P = 0.32$): on average 77% of total CT ingested were apparently not excreted. Soluble CT excretion as percentage of total CT intake was greatest for RR, followed by CR and SR ($P < 0.001$), while protein- and fiber-bound CT were greatest for SR, followed by CR and RR ($P < 0.001$). The differences in dietary protein and fiber content among silages may have an effect on the interactions between CT and both protein and fiber

Conclusion

In conclusion, not all CT that are ingested are also recovered in the feces. The recovered CTs show a change in their fractions when passing through the digestive tract, especially by enhancing the complexes with protein and fiber. The stability of those complexes after excretion needs further investigation. As the analytical method is very crude, and fully relies on the appropriate standard, it remains unclear if really part of the CT is digested, converted in other metabolites (with or without residual binding activity) or simply no longer recovered in the analysis.

Table 1: Effects of diets on daily dry matter intake and the CT balance

Item	Treatment			SE	P-value
	RR	CR	SR		
Dry matter intake (kg/d)	20.5	25.6	23.2	1.13	< 0.01
CT Intake (g/d)					
Soluble (% of total CT intake)	90.1 (95)	99.8 (92)	280 (69)	20.8	< 0.001
Protein-bound (% of total CT intake)	4.09 (4)	6.85 (6)	107 (26)	5.80	< 0.001
Fibre-bound (% of total CT intake)	0.62 (1)	2.23 (2)	20.6 (5)	2.69	< 0.001
Total	94.8	108	408	25.4	< 0.001
CT Feces (g/d)					
Soluble (% of total CT excreted)	11.3 (56)	10.3 (41)	21.6 (22)	1.19	< 0.001
Protein-bound (% of total CT excreted)	7.35 (36)	11.3 (45)	49.7 (51)	2.00	< 0.001
Fibre-bound(% of total CT ex- creted)	1.77 (9)	3.53 (14)	25.9 (27)	1.32	< 0.001
Total	20.4	25	97.2	3.37	< 0.001
CT fecal excretion (% of total CT intake)					
Soluble	11.9	9.58	5.58	0.71	< 0.001
Protein-bound	7.77	10.7	12.5	0.83	< 0.001
Fibre-bound	1.88	3.32	6.46	0.30	< 0.001
Total	21.6	23.6	24.5	1.49	0.32

References

- Carulla, J.E., Kreuzer, M., Machmüller, A. and Hess, H.D. (2005): Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Austral. J. Agric. Res.*, **56**: 961-970
- Terrill, T.H., Rowan, A.M., Douglas, G.B. and Barry, T.N. (1992): Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains, *J. Sci. Food Agric.*, **58**: 321-329
- Seoni, E., Rothacher, M., Arrigo, Y., Ampuero Kragten, S., Bee, G. and Dohme-Meier, F. (2021): The fate of tannins from birdsfoot trefoil and their effect on the nitrogen balance in growing lambs fed diets varying in protein level. *Animals*, **11**: 190.

Effekt von Tanninen in *Onobrychis* und *Quercus robur* auf *in vitro* Gas- und Ammoniakbildung im Pansen und Verdaulichkeit

H. Sutter¹, K. Schweingruber¹, M. Terranova² und M. Schick¹

¹Strickhof, Division Animal Husbandry & Dairy Production, Eschikon 21, 8315 Lindau, Schweiz

²ETH Zurich, AgroVet-Strickhof, Eschikon 27, 8315 Lindau, Schweiz

Kontaktperson: Helene Sutter, elena.sutter.88@gmail.com

Die Reduktion von Methan und Ammoniak trägt dazu bei, dass Klima zu schonen und hat einen positiven Effekt auf die tierische Produktionseffizienz (Min et al., 2020). Die Methan- und Ammoniakbildung kann durch den Einsatz von Futtermitteln beeinflusst werden. Ein vielversprechender Ansatz sind die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe Tannine, die aus polyphenolischen Komplexen bestehen (Broucek, 2018). Verschiedene Studien konnten bereits einen senkenden Effekt auf den Methan- und Ammoniakausstoss sowohl *in vitro* (z.B. Terranova et al., 2020) als auch *in vivo* (z.B. Denninger et al. 2020) feststellen.

In der vorliegenden Studie wurde der Effekt von Esparsette und Eichenrindpulver auf die Methan- und Ammoniakproduktion *in vitro* untersucht. Vier verschiedene Esparsette-Schnitte aus drei verschiedenen Regionen in der Schweiz, sowie eine Charge Eichenrindpulver, wurden mit dem Hohenheimer Futterwerttest (HFT) untersucht (Menke und Steingass, 1988; Soliva und Hess, 2007). Es wurde Pansensaft von vier fistulierten Schweizer Original Braunvieh Kühen bei AgroVet-Strickhof entnommen und in vier aufeinander folgenden Durchgängen untersucht. Bei jedem Durchgang wurde eine Mischration bestehend aus Grassilage, Maissilage, Heu, Luzerne, Kraftfuttermischung AgroVet und dem Proteinbetonten Kraftfutter UFA 249 (Mischverhältnis: 58:26:4:4:5:3) verwendet, die als Basis für die Zusätze und als Kontrolle (ohne Zusatz) diente. Die Zusätze ersetzten einen Anteil der Mischration in verschiedenen Dosierungen (Esparsette: 5 Dosierungen mit 10 %, 15 %, 20 %, 25 % und 30 %; Eichenrinde: 4 Dosierungen, 0.5 %, 1 %, 1.5 % und 2 %). Jede Dosierung wurde zwei Mal pro Durchgang getestet, so dass insgesamt 8 Wiederholungen von jeder Dosierung untersucht wurden.

In einem weiteren Schritt werden die Ergebnisse nun aufbereitet und statistisch untersucht.

Das Potential dieser Studie liegt darin, einheimische Futtermittel auf ihre Methan- und Ammoniakmindernde Wirkung zu überprüfen. Der Einsatz solcher Pflanzen kann eine praktikable und kostengünstige Option für Landwirte darstellen. Zudem wäre die einheimische Produktion auch in Hinsicht

auf die Nachhaltigkeit und den Kohlenstoffdioxid Ausstoss aufgrund kürzerer Transportwege eine gute Option.

Literaturverzeichnis

Broucek, J. (2018): Options to methane production abatement in ruminants: a review, *J. of Animal & Plant Sci.* **28**(2): 348-364

Denninger, T.M., Schwarm, A., Birkinshaw, A., Terranova, M., Dohme-Meier, F., Münger, A., Eggerschwiler, L., Bapst, B., Wegmann, S., Clauss, M., Kreuzer, M. (2020): Immediate effect of *Acacia mearnsii* tannins on methane emissions and milk fatty acid profiles of dairy cows, *Animal Feed Sci. and Tech.* **261**: 114388

Menke, K.H., Steingass, H. (1988): Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid, *Animal Research and Development*, **28**: 7-55

Min, B.R., Solaiman, S., Waldrip, H.M., Parker, D., Todd, R.W., Brauer, D. (2020): Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options, *Animal Nutrition* **6**: 231-246

Soliva, C., Hess, H.D. (2007): Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques. In: *Measuring methane production from ruminants* (Makkar, H.P.S., Vercoe, P.E, eds), Springer, Dordrecht, The Netherlands: 15-31

Terranova, M., Wang, S., Eggerschwiler, L., Braun, U., Kreuzer, M., Schwarm, A. (2020): Dose-response effects of woody and herbaceous forage plants on *in vitro* ruminal methane and ammonia formation, and their short-term palatability in lactating cows, *Animals*, **14**(3): 538-548.

Different combinations of plant secondary compounds to mitigate rumen ammonia production

G. Foggi¹, M. Terranova², G. Conte^{1,3}, A. Cappucci³, M. Kreuzer⁴ and M. Mele^{1,3}

¹University of Pisa, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Via del Borghetto, 80, 56124 Pisa, Italy

²ETH Zurich, AgroVet-Strickhof, Eschikon 27, 8315 Lindau, Switzerland

³University of Pisa, Centro di Ricerche Agro-ambientali “E. Avanzi”, Via Vecchia di Marina, 6, 56100 Pisa, Italy

⁴ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Universitaetstrasse 2, 8092 Zurich, Switzerland

Contact: Giulia Foggi, giulia.foggi@phd.unipi.it

Introduction

In recent years, the use of feed additives was proposed as promising strategy to mitigate methane emission from livestock. Several in vitro rumen studies investigated the effect of various plant secondary metabolites on fermentation parameters and feeding values. Plant secondary compounds operate according to different mechanisms of action having a wide variety of chemical structures. Since the hydrolysable (e.g., chestnut extract) and condensed (e.g., quebracho extract) tannins have a protein binding effect and anti-methanogenic properties, their use as feed additives resulted in increasing the by-pass proteins and in reducing methane emission (Jayanegara et al., 2015). The essential oils compounds (EOC) generally have antimicrobial activity and their use in ruminant feeding was previously reported to mitigate both ammonia and methane formation (Joch et al., 2016).

In this study, hydrolysable and condensed tannin sources together with essential oils compounds were tested in vitro to find the best combinations to mitigate both ammonia and methane productions.

Materials and Methods

Nine EOC were selected and mixed to prepare twelve EOC blends. The raw EOC tested as 1% pure on a DM basis, were: Carvacrol; Oregano essential oil; Thymol; Thyme essential oil; Eugenol; Clove essential oil; Limonene; α -pinene; Bornyl acetate. The chestnut (C) and quebracho (Q) tannins were tested as 2% pure each and mixed as 1% quebracho plus 1% chestnut (C/Q) on DM basis. The 2% C, Q and C/Q tannin were mixed with the 1-1.5% of twelve different EOC blends, for a total of 36 combinations of additives. The supplements were added to a basal diet (control) with a forage: concentrate ratio of 70:30, then fermented for 24 hours in a Hohenheim gas test apparatus (Menke and Steingass, 1988 and Soliva and Hess, 2007). Every treatment was tested once in every run for a total

of 6 observations, with the only exception of the control diet that was tested in duplicate in every run (12 observations). The rumen fluid was freshly collected before morning feeding from three cannulated lactating Brown Swiss cows. The parameters measured were gas production (mL/g), methane yield (mg/L), ammonia formation (mM), pH, protozoa count, total produced volatile fatty acids (VFA, mM), and single VFA proportion (%). The In Vitro Organic Matter Degradability (IVOMD) was calculated according to Menke and Steingass (1988).

Data were analysed by a mixed linear model (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2010) considering the fixed effect of the treatment, and the random effect of runs (6 runs). Data were independently analysed for every fermented sample. Differences were declared significantly different at p -value < 0.05 . When treatment effect was significant, a post hoc Tukey's analysis was done.

Results and Discussion

The pH (6.8) and the protozoal number, which ranged from 1.1 to 2.1 10^4 per mL of incubated fluid were not significantly different contrasting control and none of the supplemented treatments. The gas production, methane production, ammonia formation (mM), total VFA, single VFA proportion and IVOMD did not differ in any of the treatments where the tannins or EOC additives were tested as pure additive. Only C/Q mix, and thyme essential oils decreased the ammonia production and total VFA, respectively. The VFA proportion was not affected by supplementation of additives, and the acetate: propionate ratio was 3.7 as average value.

When any of the 36 combined additives (tannins + EOC) was added, the ammonia formation decreased up to 31% with the highest potential reduction with mixture containing C tannins. Terranova et al. (2018) using the same in vitro system obtained a similar reduction extent (-32%) by incubating rumen fluid with chestnut leaves. However, in the present study, the mixture containing condensed tannins remarkable decreased also ammonia production (up to -23%).

With regard to the methane yield, it was decreased up to 15% only by six mixtures containing quebracho (4 treatments) or chestnut (2 treatments) tannins. Some additives belonging to the C/Q subgroup lowered the total gas production, the IVOMD or total VFA production, but they did not affect the methane yield. Among the four above mentioned treatments containing quebracho and essential oils, two negatively affected also the feeding values. This reduction was supported by the fact that condensed tannins bind the nutrients stronger than hydrolysable tannins making them unavailable during the rumen fermentation (Jayanegara et al., 2015). Therefore, only four combinations resulted to be promising in order to efficiently mitigate methane and ammonia production and minimising the lowering effect on IVOMD and total VFA production (less than 8% in the Q subgroup and less than

6% in the C subgroup). The EOC blends included in the four selected mixtures was mainly formulated with oregano and thyme essential oils plus eugenol (additives of Q subgroup) or limonene (additives of C subgroup). The other thirty-two mixtures lowered the IVOMD by -7 to -10% and VFA total production by -2 to -7%.

Conclusion

Mixtures containing tannins and EOC blend have a higher ammonia and methane mitigation potential if compared with the control diet or the pure additives. Among the thirty-six combinations, four of these seemed to be promising on the basis of the concomitant reduction of methane and ammonia production, minimising the negative effect on IVOMD and VFA total production. Further studies are needed to confirm these results and to evaluate the persistence of the mitigating effect in long-term experiments.

References

- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H.P., & Becker, K. (2015): Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **209**: 60-68
- Joch, M., Cermak, L., Hakl, J., Hucko, B., Duskova, D., & Marounek, M. (2016): In vitro screening of essential oil active compounds for manipulation of rumen fermentation and methane mitigation. *Asian-Australas J Anim Sci*, **29**(7): 952
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979): The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. Agric. Sci.*, **93**(1): 217-222
- Soliva, C.R., & Hess, H.D. (2007): Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques. In *Measuring methane production from ruminants*. Springer, Dordrecht: pp. 15-31
- Terranova, M., Kreuzer, M., Braun, U., & Schwarm, A. (2018): In vitro screening of temperate climate forages from a variety of woody plants for their potential to mitigate ruminal methane and ammonia formation. *J. Agric. Sci.*, **156**(7): 929.

Pomegranate pomace - functional feed to reduce methane and improve protein utilization and antioxidant status in dairy cows?

P. Niu^{1,2}, A. Schwarm¹, M. Kreuzer² and K. Giller²

¹Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway

²ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Zurich, Switzerland

Contact: Puchun Niu, puchun.niu@nmbu.no

Introduction

Ruminant-based food production has been increasing in response to the growing human population. This has consequences for greenhouse gas emissions (GHG) and thus climate change. Additionally, it accelerates the food/feed competition between humans and ruminants. Improving the sustainability of ruminant-derived food production is therefore needed. Millions of tons of fruit pomaces are produced annually worldwide and disposed of, which is problematic due to high costs (for instance approx. 10 million US dollar spent annually in the US on the disposal of pomace solely from apple) and environmental pollution of landfills (Shalini and Gupta, 2010). Pomegranate shrub and tree (*Punica granatum* L.) is an important cash crop native to an area reaching from Iran to the Himalayas in northern India. During the industrial processing of pomegranate to juice, the peel, pulp, and seeds of the pomegranate fruit arise as by-products and together form the pomace. The nutritional value of pomegranate pomace is relatively high with contents (% dry matter basis, DM) of organic matter, crude protein, neutral detergent fiber and ether extract of 96, 13, 30, and 3 (Giller et al. 2021). Furthermore, pomegranate pomace is a valuable source of plant secondary compounds (PSC), especially polyphenols with antioxidant properties, and may thus be used as functional feed in ruminant diets for improving the metabolic redox and health status (Gessner et al. 2017). A few *in vivo* studies have investigated the effect of pomegranate peel or peel extract powder on protein utilization and productivity in ruminants. These studies reported bull calves' performance (Shabtay et al. 2011), ruminal fermentation of male buffalo calves (Sing et al. 2018), and ruminal fermentation, digestibility, as well as milk yield of dairy cows (Abarghuei et al. 2013). There is a lack of *in vivo* studies reporting the potential of pomegranate peel or its extract to alter enteric methane production and the antioxidant status in dairy cows. An *in vitro* study indicated that methane yield (per unit digested organic matter) may be reduced by 20% when pomegranate pomace silage was supplemented to a total mixed ration at a level of 20% on DM basis (Kara et al. 2018). In our *in vitro* study (Giller et al. 2021), the pomace of pomegranate was most promising among nine fruit and vegetable pomaces tested, in reducing

ruminal methane yield (per unit DM) by 14% compared to control when added at a level of 15% (DM basis). Therefore, the effect of feeding pomegranate pomace to dairy cows on their methane emission, protein utilization and antioxidant status is now investigated in an experiment.

Material and Methods

The experiment was approved by the Cantonal Veterinary Office of Zurich (ZH229/2020) and is currently ongoing at AgroVet-Strickhof (Eschikon, Lindau). The dried pomegranate peel was obtained from Alfred Galke GmbH (Bad Grund, Germany).

The feed of the lactating dairy cows is supplemented with two different levels of pomegranate peel. Data are collected by means of respiration chambers (methane production), balance measurements (faeces and urine collection for nitrogen losses and protein utilization), and blood sampling (antioxidant status). The experiment is performed with four cows fed three diets (supplemented pomegranate peel accounts for 0, 5%, and 10% in the diet (mixed basal ration and pomegranate peel) on DM basis) in three periods (cyclic change-over design) and will be statistically evaluated by contrast analysis. Each period lasts for 23 days, with an adaptation period of 14 days, 7 days for balance and 2 days for respiration chamber measurements. On day 15, blood samples will be collected to obtain plasma. The animals will receive the same mixed basal ration in all three periods. The estimated concentration of total dietary tannins (from both pomegranate peel and the mixed basal ration) is 1.5% and 2.8% in DM, thereof 1.4% and 2.6% hydrolysable tannins in DM. The expected maximal reduction in enteric methane emission is about 10%.

Nutrient contents in (pooled) samples of feed, faeces and urine will be analysed. Total phenols (TP) and non-tannin phenols (NTP) in the plasma will be determined by the Folin-Ciocalteu method (Wang et al. 2019). Condensed tannins (CT) will be analysed using the butanol-HCl-iron method (Porter et al., 1986). Total tannins (TT) will be calculated as the difference between TP and NTP. Hydrolysable tannins will be calculated as the difference between TT and CT. The plasma redox status will be analysed using a set of different assays: the FRAP assay according to the method of Benzie and Strain (1996), a commercial kit for total antioxidant capacity (OxiSelect™ Total Antioxidant Capacity Kit, Cell Biolabs, Inc., San Diego, USA), and the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay (Cao et al., 1993). First results will be available in summer 2021.

References

- Benzie, I.F. and Strain, J.J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal. Biochem.* **239**: 70-76
- Cao, G., Alessio, H.M. and Cutler, R.G. (1993): Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biol. Med.* **14**: 303-311
- Gessner, D.K., Ringseis, R. and Eder, K. (2017): Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **101**: 605-628
- Giller K., Bossuta, L., Eggerschwiler, L. and Terranova, M. (2021): Effect of fruit and vegetable pomaces in differing concentrations on in vitro ruminal fermentation, methane production and nutrient degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.*, submitted
- Jami, E., Shabtay, A., Nikbachat, M., Yosef, E., Miron, J. and Mizrahi, I. (2012): Effects of adding a concentrated pomegranate-residue extract to the ration of lactating cows on *in vivo* digestibility and profile of rumen bacterial population. *J. Dairy Sci.* **95**: 5996-6005
- Kara, K., Guclu, B.K., Baytok, E., Aktug, E., Oguz, F.K., Kamalak, A. and Atalay, A.I. (2018): Investigation in terms of digestive values, silages quality and nutrient content of the using pomegranate pomace in the ensiling of apple pomace with high moisture contents. *J. Appl. Anim. Res.* **46**: 1233-1241
- Porter, L.J., Hrstich, L.N. and Chan, B.G. (1985): The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*, **25**: 223-230
- Shabtay, A., Eitam, H., Tadmor, Y., Orlov, A., Meir, A., Weinberg, P., ... and Kerem, Z. (2008): Nutritive and antioxidative potential of fresh and stored pomegranate industrial byproduct as a novel beef cattle feed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* **56**: 10063-10070
- Shalini, R. and Gupta, D.K. (2010): Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *J. Food Sci. Technol.* **47**: 365-371
- Singh, I., Hundal, J.S., Singh, G., Wadhwa, M. and Lamba, J.S. (2018): Effect of Feeding Pomegranate and Rohitaka on Rumen Fermentation Parameters in Male Buffalo Calves. *Indian J Anim Sci.* **35**: 391-396
- Wang, S., Giller, K., Hillmann, E., Marquardt, S. and Schwarm, A. (2019): Effect of supplementation of pelleted hazel (*Corylus avellana*) leaves on blood antioxidant activity, cellular immune response and heart beat parameters in sheep. *J. Anim. Sci.* **97**: 4496-4502.

Alternative Fütterungsstrategien in der Intensivmast zur Erzeugung von qualitativ hochwertigem Rindfleisch in der Schweiz

M. Keller¹, M. Kreuzer¹, B. Reidy², A. Scheurer² und K. Giller¹

¹ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, 8092 Zürich, Schweiz

²BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), 3052 Zollikofen, Schweiz

Kontakt: Magdalena Keller, magdalena.keller@usys.ethz.ch

Einleitung

Charakteristisch für die intensive Munimast ist der hohe durchschnittliche Tageszuwachs (TZW) von > 1.3 kg, sodass die Tiere innerhalb von ca. 13 Monaten das Zielgewicht von 520 bis 550 kg mit marktkonformer Schlachtkörperqualität (mindestens mittlere Fleischigkeit bei gleichmässiger Fettdeckung) erreichen (Janett et al., 2021). Um diese Ziele zu realisieren werden die Tiere mit einer Ration aus überwiegend Maissilage und Kraftfutter gemästet (Abb. 1). Die Proteinversorgung, insbesondere mit hochwertigem, im Darm absorbierbarem Protein (APD), kommt dabei hauptsächlich aus dem Kraftfutter (Janett et al., 2021). Dazu wird insbesondere importiertes Sojaschrot eingesetzt, das sich durch einen hohen APD-Anteil und die gute Verfügbarkeit am Markt als wertvolles Eiweissfuttermittel anbietet, dessen Einsatz jedoch aufgrund der negativen Umweltwirkung (Abholzung des Regenwaldes, Biodiversitätsverlust, lange Transportwege) immer wieder kritisiert wird. Hohe Anteile an Grassilage werden hingegen aufgrund ihres geringeren Energiegehaltes und der damit erwarteten niedrigeren Mastleistung gegenüber der Maissilagefütterung nur sehr begrenzt eingesetzt. Die Vorgaben des vom Bund lancierten Programmes zur «Graslandbasierten Milch- und Fleischproduktion (GMF)» mit einem Mindestanteil von 75 % Grasland-basiertem Futter und einem maximalen Kraftfutteranteil von 10 % in der Gesamtration (BLW, 2021) werden nicht einmal ansatzweise erreicht. Ziel der vorliegenden Studie war es, in zwei Munimastversuchen (1) die Auswirkungen eines vollständigen Ersatzes oder Weglassens von Sojaschrot in einer Gras-/Maissilage-Ration sowie (2) den Ersatz von Maissilage und Kraftfutter durch Grassilage und den energiereichen Corn-Cob-Mix (CCM) auf die Mastleistung, die Schlachtkörper-, Fleisch- und Fettgewebsqualität zu untersuchen.

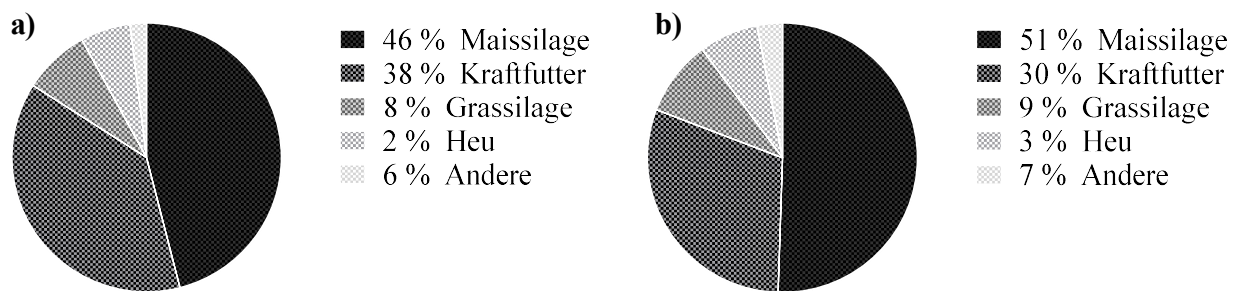


Abbildung 1. Rationszusammensetzung während a) der Vormast (< 300 kg Lebendgewicht) und b) der Ausmast (> 300 kg Lebendgewicht) auf 36 Mastbetrieben repräsentativ für das Terra Suisse Label (verändert nach Janett et al., 2021).

Material und Methoden

Für die beiden Fütterungsversuche wurden je 30 männliche Limousin-Kreuzungen im Alter von durchschnittlich 4.3 ± 0.4 Monaten (Mittelwert \pm Standardabweichung) und einem durchschnittlichen Startgewicht von 164 ± 16 kg eingesetzt. Die Grundration in Versuch 1 setzte sich aus Grassilage, Maissilage und Kraftfutter im Verhältnis 0.5:0.3:0.2 bezogen auf die Trockensubstanz (TS) zusammen. Das Kraftfutter enthielt entweder 28 % Sojaschrot, 75 % Ackerbohne, 23 % Kürbiskernpresskuchen, 20 % Spirulina oder keine zusätzliche Proteinquelle. Der Rohproteingehalt der Kraftfuttermischungen betrug circa 23 % mit Ausnahme des Kraftfutters ohne Proteinergänzung (14 %). Die Rationen in Versuch 2 setzten sich aus Grassilage, Maissilage und Kraftfutter im Verhältnis 0.1:0.6:0.3 (G10, Kontrolle), 0.3:0.5:0.2 (G30), 0.5:0.3:0.2 (G50) oder aus Grassilage, CCM und Kraftfutter im Verhältnis von 0.5:0.3:0.2 (G50_{CCM}) und 0.75:0.15:0.1 (G75_{CCM}, GMF-konform) zusammen. In der Kontrollration (G10) wurde ein proteinreiches (27 % Rohprotein) Kraftfutter eingesetzt, wohingegen die Rationen mit erhöhten Anteilen an Grassilage ein proteinreduziertes (14 % Rohprotein) Kraftfutter enthielten.

In beiden Versuchen wurde die Grundfütterration *ad libitum* vorgelegt und täglich ausgetauscht. Das Kraftfutter wurde 2- bis 3-mal täglich von Hand zugefüttert. Die individuelle Futteraufnahme wurde durch den Einsatz elektronischer Fressplattoren und Transponder gesteuert. Um das Grundfutter-Kraftfutter-Verhältnis einzuhalten wurde die Kraftfuttermenge alle zwei Wochen an die tatsächliche TS-Aufnahme angepasst. Die individuelle Futteraufnahme sowie das Lebendgewicht (LG) der Tiere wurden über die gesamte Versuchsdauer in regelmässigen Abständen erfasst. Die Schlachtung der Tiere erfolgte gestaffelt je nach Erreichen des angestrebten LG von 520 kg. Die Fleischqualität wurde nach 21-tägiger Reifung im Labor analysiert. Das Fettsäurenmuster wurde im intramuskulären Fett untersucht, während die Fetthaltbarkeit im subkutanen Fett bestimmt wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Versuch 1. Der Ersatz von Sojaschrot durch alternative Proteinquellen hatte keinen Einfluss auf den TZW (1.43 ± 0.10 kg), die TS-Aufnahme, die Futtermittelverwertung (kg TS-Aufnahme/kg Tageszuwachs), das Schlachtkörpergewicht und die -taxierung (CH-TAX, Proviande 2015) sowie die Fleischqualität. Auch wenn komplett auf eine zusätzliche Proteinergänzung verzichtet wurde, wurden keine Unterschiede gefunden. Die Ergebnisse implizieren, dass Soja vollständig durch die hier eingesetzten alternativen Proteinquellen in Rationen mit einem 50 %-igen Anteil an Grassilage ersetzt werden kann. Die unbeeinträchtigte Kraftfutteraufnahme deutet darauf hin, dass die Schmackhaftigkeit der getesteten Proteinträger hoch war. Vor allem deuten die Ergebnisse aber darauf hin, dass bei Grassilagebetonten Rationen möglicherweise gar keine Proteinsupplementierung erforderlich ist, um eine Wachstumsleistung von mehr als 1.3 kg/Tag sicherzustellen.

Versuch 2. Die Mastleistung wurde signifikant durch die Fütterung beeinflusst. Die Anzahl der Tage im Versuch war verschieden ($P < 0.001$) entsprechend dem unterschiedlichen ($P < 0.001$) TZW, der in der Gruppe G10 (247 Tage; 1.43 kg) und G50_{CCM} (270 Tage; 1.34 kg) höher war als in den Gruppen G30 (314 Tage; 1.15 kg), G50 (300 Tage; 1.20 kg) und G75_{CCM} (305 Tage; 1.17 kg). Die totale TS-Aufnahme war zwischen den Gruppen vergleichbar, wohingegen die Gruppe G10 eine bessere ($P < 0.001$) Futtermittelverwertung aufwies als die anderen Gruppen. Die geringste Rohproteinaufnahme hatte G30 ($P < 0.001$), während G10 und G75_{CCM} die höchste Rohproteinaufnahme aufwiesen, die sich aber nicht signifikant von G50_{CCM} unterschied. Die Nettoenergieaufnahme (NEV) war am höchsten für G10 und G50_{CCM} ($P < 0.001$) und am niedrigsten für G75_{CCM}. Die APD-Aufnahme war am höchsten ($P < 0.001$) in der Gruppe G10. Alle Gruppen erzielten eine vergleichbare Schlachtleistung (Schlachtkörpergewicht, Ausschachtung, Taxierung). Im Hinblick auf die absoluten Werte der Fettdeckung erzielten alle Gruppen den Zielwert von 3, mit Ausnahme der Kontrollgruppe (Fettgewebeklasse 2). Die Reifungs-, Tropfsaft- und Kochverluste waren zwischen den Gruppen ähnlich. Es konnten keine oder keine systematischen Effekte auf die Fleischfarbe festgestellt werden. Für die Gruppe G75_{CCM} wurden niedrigere ($P < 0.05$) Scherkraftwerte des Fleisches gegenüber der Kontrollgruppe G10 ermittelt. Mit steigendem Anteil an Grassilage in der Ration nahm der Anteil an Omega-3 Fettsäuren zu ($P < 0.001$) und das Verhältnis von Omega-6 zu Omega-3 Fettsäuren ab ($P < 0.001$). Es zeigte sich, dass diese positiven Effekte höherer Anteile an Grassilage in der Ration durch den Austausch von Maissilage durch CCM begrenzt wurden. Die Ergebnisse aus Versuch 2 bestätigten, dass ein höherer Anteil an Grassilage grundsätzlich zu Einbußen in der Mast- jedoch nicht in der Schlachtleistung führte. Jedoch kann der Austausch von Maissilage durch den energiereicheren CCM diesem Negativtrend vorbeugen und mit einer Ration bestehend aus 50 % Grassilage sowie 30 %

CCM und 20 % Kraftfutter eine der Kontrollration vergleichbare Mastleistung erzielt werden. Die durch den Einsatz höherer Anteile an Grassilage höheren Anteile an Omega-3 Fettsäuren und das ausgeglichene Verhältnis von Omega-6 zu Omega-3 Fettsäuren im Fleisch verbessern dessen Nährwert.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse aus den beiden Fütterungsversuchen implizieren, dass ein Grassilageanteil von 50 % in der Ration in der intensiven Muminast problemlos möglich ist und es scheint, dass gleichzeitig auf zusätzliche Proteinträger verzichtet werden kann. Während im zweiten Versuch die Mastleistung nur durch den Austausch von Maissilage durch CCM erhalten werden konnte, weisen die Ergebnisse aus dem ersten Versuch darauf hin, dass dies durchaus auch in Kombination mit Maissilage möglich sein kann. Hier spielt sicherlich die Qualität der Grassilage eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus zeigte sich in beiden Versuchen, dass der Kraftfutteranteil gegenüber der bisher gebräuchlichen Rationszusammensetzung von ca. 30 % auf 20 % gesenkt werden kann. Der höhere Anteil an Grassilage führte zudem zu einem für die menschliche Ernährung verbesserten Fettsäurenprofil des Fleisches.

Wir danken dem Migros Genossenschaftsbund, der Micarna SA sowie der ETH Zürich Foundation und dem World Food System Center der ETH Zürich für die finanzielle Förderung dieses Projektes.

Literatur

BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) (2021): Beitrag für die graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/produktions-systembeitraege/beitrag-fuer-graslandbasierte-milch--und-fleischproduktion.html>. Aufgerufen am: 29.03.2021

Janett, R.M., Wyss, M., Favre, J., Scheurer, A., & Reidy, B. (2021): Teil I – Eckpunkte einer umweltfreundlichen und effizienten Erzeugung von hochwertigem Rindfleisch unter Schweizer Produktionsbedingungen. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen, Schweiz. (unveröffentlicht)

Proviande (2015): CH-TAX Einschätzungssystem für Schlachttiere und Schlachtkörper (Rindvieh, Schafe). Bern, Switzerland.

Efficiencia alimentaria de taurillons à l'engrais avec des rations contenant du colza, des pois protéagineux, du lupin et des ensilages riches en légumineuses en substitution du tourteau de soja

I. Morel¹, V. Nadau¹, J.-L. Oberson¹ et G. Cantalapiedra-Hijar²

¹Agroscope, Groupe de recherche ruminants, Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

²INRAE, Université Clermont Auvergne, Vetagro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champagne, France

Contact: Isabelle Morel, isabelle.morel@agroscope.admin.ch

Introduction

En engraissement de jeunes bovins, l'ensilage de maïs occupe une part importante des régimes, parfois même sa totalité. Ensilé en plante entière le maïs est riche en énergie mais pauvre en matière azotée, avec des teneurs de 7 à 9 % de la matière sèche (MS). Cette faible concentration engendre un déséquilibre qui doit être corrigé par l'apport de matières premières riches en protéines. Le tourteau de soja représente une référence en la matière en raison de sa concentration élevée en matière azotée. Son importation dans les systèmes européens n'est toutefois pas sans conséquences, d'une part sur l'environnement, en particulier sur la déforestation en Amérique du Sud (Solonet et al., 2011) et d'autre part sur l'empreinte carbone importante qu'elle confère aux produits finaux (Billon et al., 2009). Dans l'objectif d'une production de viande durable, liée au terroir et respectueuse de l'environnement, ainsi que vis-à-vis des consommateurs, l'autonomie protéique est de plus en plus convoitée. Cet essai d'engraissement de taurillons a pour objectif de maximiser l'autonomie alimentaire et d'évaluer les effets sur l'ingestion, les performances et l'efficacité alimentaire d'une substitution du tourteau de soja dans les régimes par des sources protéiques pouvant être produites localement, soit sous forme de protéagineux et oléagineux, soit sous forme de fourrages riches en protéines.

Matériel et méthodes

L'essai porte sur 70 bovins mâles non castrés âgés de $4,1 \pm 0,4$ mois et d'un poids vif (PV) de $169,9 \pm 15,6$ kg qui correspondent aux croisements le plus souvent utilisés dans la pratique en Suisse. Ils appartiennent à deux types génétiques (TG) distincts, soit des croisements Limousin x race laitière (TG1) soit des animaux de type mixte ou croisés mixte x race laitière (TG2). Les animaux ont été attribués de façon équilibrée dans 5 régimes expérimentaux selon le TG, le PV et le gain moyen

quotidien (GMQ) durant la période d'élevage. Le régime témoin TEM était constitué de 72% (base MS) d'ensilage de maïs plante entière (MPE) complété par des aliments du commerce contenant du tourteau de soja. Dans deux régimes, du MPE (52 et 55% respectivement) était complété soit par 32% de pois protéagineux et tourteau de pression de colza (PPC), soit par 30% de lupin doux (LUP). Le solde étant de la luzerne déshydratée (7%), des concentrés et des minéraux. Dans deux autres régimes, un ensilage d'herbe riche en légumineuses (32%; LEG) ou un ensilage de luzerne (21%; LUZ) constituaient la principale source protéique en complément d'un MPE enrichi en épis (50% MPE, 50% épis) donné à raison de 38 et 42% respectivement, le solde de la ration étant des concentrés et des minéraux. Les rations ont été établies pour un GMQ moyen de 1420 g entre 170 et 530 kg PV. Elles sont iso-énergétiques (7.4 MJ NEV/kg MS) et calculées de manière à couvrir au plus près les apports recommandés en PAI (95 g/kg MS) ainsi que le rapport MA/NEV minimum de 19 g/MJ. Les rations complètes mélangées (TMR) sont offertes ad libitum. L'ingestion individuelle est enregistrée quotidiennement (Insentec) et transposée en matière sèche ingérée (MSI) sur la base de l'analyse bihebdomadaire de la teneur en MS de la TMR. Le PV est mesuré toutes les 4 semaines. Pour évaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote, l'enrichissement naturel en ^{15}N des tissus animaux (muscle) par rapport à son régime alimentaire ($\Delta^{15}\text{N}$) a été déterminé (Cantalapiedra-Hijar et al., 2015). Les données ont été analysées en utilisant une ANOVA (NCSS). Le modèle comprenait deux facteurs fixes (régime, type génétique) et leur interaction.

Résultats et discussion

La présence de sources protéiques alternatives au soja a eu des conséquences sur l'ingestion journalière moyenne de MS qui était significativement réduite pour PPC et LUP par rapport à LUZ et TEM, avec des valeurs intermédiaires pour LEG (Tab. 1). Ces différences se reportent en partie sur l'ingestion journalière de NEV et PAIE. Une situation différente est observée en revanche pour les PAIN où la présence d'herbages dans les rations LEG et LUZ implique un apport plus élevé que dans les trois autres variantes. Comparé à la valeur de TEM (14%), la concentration moyenne en matière azotée (MA) du régime est la plus élevée dans LEG (17%), suivie de PPC, LUP et LUZ (16%). Ce résultat est la conséquence de l'optimisation des régimes, tel que décrit dans le chapitre Matériel et Méthodes. Un GMQ de 144 g inférieur par rapport à TEM, avec une différence significative pour PPC, LUP et LEG ($P < 0,05$) a été observé en moyenne des 4 régimes expérimentaux qui eux-mêmes n'étaient pas différents entre-eux. Un effet significatif du TG a été observé pour ce paramètre en faveur des TG2 avec $1,47 \pm 0,17$ contre $1,41 \pm 0,09$ pour les TG1 sans interaction entre les deux facteurs. Avec 23 jours de plus en moyenne que pour TEM, la durée d'engraissement des 4 variantes

expérimentales a été tendanciellement plus longue ($P=0,07$). L'écart entre les groupes génétiques, également tendanciel ($P=0,08$), s'est élevé à 12 jours d'engraissement de plus pour TG1.

Le $\Delta^{15}\text{N}_{\text{muscle-régime}}$ s'est révélé significativement inférieur pour TEM par rapport aux 4 régimes expérimentaux ($P<0,001$), indiquant une efficacité d'utilisation des protéines alimentaires moins élevée avec les sources alternatives au soja étudiées ici. Ce résultat pourrait être la conséquence d'une ingestion d'azote plus faible pour le régime TEM ainsi que d'un meilleur équilibre entre l'azote et l'énergie disponibles au niveau du rumen. En effet, le rapport PAIN:PAIE estimé était le plus proche de l'équilibre 1 recherché pour TEM (0,97), le régime le plus déséquilibré étant LEG avec 1,20. Les 3 autres régimes se situent entre 1,07 et 1,10. Un rapport supérieur à 1 engendre un excès de N dans la panse, lequel implique un besoin en énergie supplémentaire pour sa transformation en urée dans le foie et son excrétion via l'urine et la salive (Agroscope 2018). L'équilibre PAIN:PAIE, lié aux teneurs des matières premières herbagères et en excluant totalement le tourteau de soja du régime est difficilement réalisable.

Le résultat obtenu pour le $\Delta^{15}\text{N}$ est en accord avec l'indice de consommation (IC), qui présente un écart de 0,31 à 0,44 kg MSI par kg GMQ ($P<0,05$ pour PPC et LUZ) en faveur de TEM.

Tableau 1: Performances des bovins alimentés avec les régimes expérimentaux

		Régimes					SEM	Valeur P ¹	
		TEM	PPC	LUP	LEG	LUZ		Régime	TG
Ingestion MS (MSI)	kg/j	7,29 ^{ab}	6,97 ^{cd}	6,93 ^{cd}	7,05 ^{bc}	7,43 ^a	0,106	**	ns
Ingestion NEV	MJ/j	53,8 ^{ab}	51,4 ^c	52,3 ^{ac}	52,0 ^{ac}	55,5 ^b	0,8	**	ns
Ingestion PAIE	g/j	727 ^a	654 ^b	643 ^b	653 ^b	707 ^a	11,4	***	ns
Ingestion PAIN	g/j	702 ^a	714 ^a	714 ^a	783 ^b	757 ^{ab}	13,5	***	t
Concentration MA	g/MS	141 ^a	157 ^b	157 ^b	172 ^c	156 ^b	0,7	***	ns
Rapport MA:NEV	g/MJ	19,1 ^a	21,4 ^b	20,8 ^c	23,2 ^d	20,9 ^c	0,09	***	ns
GMQ	kg/j	1,57 ^a	1,40 ^b	1,43 ^b	1,43 ^b	1,45 ^{ab}	0,036	*	*
Durée d'engraissement	j	233	258	258	253	251	7,2	t	t
IC MSI/GMQ	kg/kg	4,68 ^a	4,99 ^b	4,89 ^{ab}	4,94 ^{ab}	5,12 ^b	0,096	*	ns
$\Delta^{15}\text{N}_{\text{Muscle-Régime}}$		2,75 ^a	3,24 ^{bc}	3,28 ^c	3,19 ^{bc}	3,02 ^b	0,063	***	ns

TEM: témoin; PPC: pois protéagineux et colza; LUP: lupin; LEG: ensilage mélange riche en légumineuses; LUZ: ensilage de luzerne; MS: matière sèche; NEV: énergie nette pour la production de viande; PAIE et PAIN: protéines absorbables dans l'intestin synthétisées à partir respectivement de l'énergie disponible et de la matière azotée dégradée; MA: matière azotée; GMQ: gain moyen quotidien; IC: indice de consommation; TG: type génétique

Valeurs P: *** <0,001; ** <0,01; * <0,05; t <0,10; ns: non significatif; ¹La valeur P pour l'interaction entre les 2 facteurs est non significative pour tous les paramètres présentés ($P>0,60$), sauf pour $\Delta^{15}\text{N}$ ($P=0,08$)

Conclusions

- La ration contenant du tourteau de soja se distingue des régimes utilisant des sources protéiques alternatives par des performances supérieures tout en ayant l'apport le plus faible en MA
- Une autonomie protéique indigène de plus de 90% et un GMQ \geq 1,4 kg/j ont été atteints avec toutes les rations testées
- Les résultats laissent envisager un potentiel d'amélioration parmi les régimes de substitution étudiés en optimisant notamment le rapport PAIN:PAIE et en réduisant légèrement le niveau d'autonomie par un apport minimal de sources protéiques importées.

Littérature

Billon, A., Neyroumande, E. et Deshayes, C. (2009): Vers plus d'indépendance en soja d'importation pour l'alimentation animale en Europe – Cas de la France. WWF-France: 49 p

Cantalapiedre-Hijar, G., Ortigues-Marty, I., Sepchat, B., Agabriel, J. Huneau, J.F. et Fouillet, H. (2015): Diet–animal fractionation of nitrogen stable isotopes reflects the efficiency of nitrogen assimilation in ruminants. *Br. J. Nutr.* **113**: 1158-1169

Solanet, G., Levard L. et Castellanet, C. (2011): L'impact des importations européennes de soja sur le développement des pays producteurs du Sud. Campagne alimenterre, 95 p.

Beeinflusst der Ersatz von Sojakomponenten durch Larvenmehl und -fett der *Hermetia illucens* die Leistung von Bio-Broilern?

M. Heuel¹, C. Sandrock², F. Leiber², A. Mathys³, M. Gold^{3,4}, C. Zurbrügg⁴, I.D.M. Gangnat¹, M. Kreuzer¹ und M. Terranova^{1,5}

¹ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Universitätstrasse 2, 8092 Zürich, Schweiz

²FIBL, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Ackerstrasse 113, 5070 Frick, Schweiz

³ETH Zürich, Nachhaltige Lebensmittelverarbeitung, Schmelzbergstrasse 9, 8092 Zürich, Schweiz

⁴Eawag/Sandec, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Schweiz

⁵ETH Zürich, AgroVet-Strickhof, Eschikon 27, 8315 Lindau, Switzerland

Kontakt: Maike Heuel, maike.heuel@usys.ethz.ch

Einleitung

Aufgrund der hohen Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln besteht in der Tierernährung ein hoher Bedarf an proteinreichen Futtermitteln wie Soja. Der Grossteil dieser Futtermittel muss jedoch nach Europa importiert werden, da der lokale Anbau nicht ausreichend ist (Früh et al., 2015). Der Anbau in anderen Ländern und der anschliessende Import haben allerdings negative Einflüsse auf die Umwelt und stehen damit zunehmend in der Kritik (Barragan-Fonsenca et al., 2017). Aus diesem Grund ist die Suche nach nachhaltigen Alternativen, die zusätzlich nicht mit der menschlichen Ernährung konkurrieren, seit einigen Jahren stark angestiegen. Eine vielversprechende Alternative wären Insekten, vor allem für den Einsatz in der Geflügelernährung. Im Speziellen die Larven der *Hermetia illucens* (schwarze Waffenfliege, Black Soldier Fly), da sie reich an Protein sind, ein vorteilhaftes Aminosäuremuster aufweisen, ihre Aufzucht lokal auf kleinem Raum stattfinden kann und sie in der Lage sind verschiedenste Futtersubstrate, wie tierische Exkremate oder Abfall, zu verwerten (Barragan-Fonsenca et al., 2017). In den letzten Jahren wurde vor allem die Möglichkeit des Einsatzes des entfetteten Larvenmehls in der Geflügelernährung untersucht und das enthaltene Fett für andere industrielle Zwecke genutzt. Aktuell wird die Integration aller Bestandteile der Larve, also der Einsatz des entfetteten Mehls in Kombination mit dem Fett oder der Einsatz der gesamten, unverarbeiteten Larve, näher untersucht. Im vorliegenden Experiment wurde daher sowohl das entfettete Larvenmehl als auch das Fett aus zwei verschiedenen Herstellungsprozessen als vollständiger Ersatz für den Sojaanteil in der Ration von Biobroilern eingesetzt und untersucht, wie sich diese Substitution auf die Leistungsparameter der Tiere auswirkt.

Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden 80 Eintagsküken einer biologischen Herkunft eingestallt (Hubbard S757) und nach Schweizer Richtlinien für die Bio-Geflügelproduktion 63 Tage lang gemästet. Nachdem die Küken die ersten 14 Tage in Gruppen (28 – 30 Tiere) mit einem kommerziellen Starterfutter aufgezogen wurden, wurden sie am 15. Tag paarweise eingestallt und einer von fünf Versuchsrationen zugeteilt (n = 16 Tiere/Gruppe). Die Versuchsrationen wurden auf Basis unterschiedlicher Hauptprotein- und Energiekomponenten formuliert. Beide Kontrollrationen (SS, SS-) basierten auf Sojakuchen (25/20% Trockensubstanz (TS)) und Sojaöl (2%), während die anderen 3 Versuchsrationen (AA-, AB-, BB-) auf verschiedenen Kombinationen von teilweise entfettetem Mehl (20% TS) und Fett (2%) von zwei unterschiedlich produzierten *Hermetia illucens* Larven (A, B) basierten. Die Rationen SS-, AA-, AB- und BB- wurden so berechnet, dass sie einen leichten Mangel an limitierenden Aminosäuren aufwiesen, um genau feststellen zu können, ob der Proteinwert des Insektenmaterials mit dem des Sojamaterials vergleichbar oder besser ist. Nach der Herstellung der Rationen wurden diese mittels standardisierter Methoden (AOAC, 1997) auf ihre analytische Zusammensetzung untersucht. Die Abteile, in denen die Tiere für die 7-wöchige Mast gehalten wurden, waren mit einem Maschenboden, einer Sitzstange und einer Nestmatte ausgestattet. Das Licht wurde auf 16 h/Tag eingestellt. Die Temperatur wurde von Tag 15 - 28 kontinuierlich von 28°C auf ca. 22°C gesenkt und bis zum Mastende beibehalten. Das pelletierte Versuchsfutter und Wasser standen den Tieren *ad libitum* zur Verfügung. Um die Tiere innerhalb der Abteile auseinander halten zu können, wurden sie beringt. Von Tag 15 – 63 wurden die tägliche Futter- und Wasseraufnahme und wöchentlich das Gewicht der Tiere bestimmt. Im Anschluss an die Mast wurde je ein Broiler pro Paar für Fleischqualitätsuntersuchungen geschlachtet. Am Folgetag wurde je ein Brustmuskel pro Tier zur Bestimmung des Auftau-, Kochverlust und der maximalen Scherkraft entnommen. Zur Bestimmung des Auftauverlustes wurde das Brustfleisch über Nacht aufgetaut und anschliessend gewogen. Zur Bestimmung des Kochverlustes wurde es in einem Wasserbad bis zu einer Kerntemperatur von 75°C gegart und erneut gewogen. Die maximale Scherkraft wurde im gekochten und abgekühlten Fleisch mit der Volodkevich-Vorrichtung mittels eines Texture Analyzers gemessen. Alle Daten wurden anschliessend in SAS mittels der MIXED Prozedur mit der Ration als fixen Effekt ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die chemischen Analysen der Versuchsrationen zeigten, dass die geplanten Defizite im Rohprotein-gehalt und den Gehalten der limitierenden Aminosäuren in den finalen Rationen zu finden waren (Tabelle 1). Allerdings wies auch die positive Kontrollration SS einen Methioninmangel in Höhe von

23% gegenüber den empfohlenen Werten auf. Der Rohproteingehalt lag in den Versuchsrationen SS-, AA-, AB- und BB- zwischen 17 - 18% TS, wohingegen der Gehalt der positiven Kontrollration SS mit 21% den Empfehlungen des Züchters für die eingesetzte Rasse entsprach. Der Rohfettgehalt ähnelte sich in den meisten Rationen mit 5.6 – 6.0% TS und lag lediglich in Ration BB- bei etwa 7.6% TS.

Tabelle 1: Analytierte Zusammensetzung der Versuchsrationen in % der Trockensubstanz

Ration ¹	SS	SS-	AA-	AB-	BB-
Trockensubstanz	88.7	88.0	88.5	89.4	88.5
Rohprotein	21.3	17.9	17.3	17.4	17.2
Rohfett	5.69	5.58	5.95	5.73	7.57
Methionin	0.35	0.28	0.33	0.34	0.35
Cystein + Methionin	0.73	0.59	0.57	0.59	0.60
Lysin	1.03	0.82	0.85	0.90	0.75
Analytierte Gehalte in % Abweichung der Empfehlungen von Hubbard					
Rohprotein	9.4	-8.5	-11.3	-10.9	-11.9
Lysin	1.2	-19.5	-16.4	-11.5	-26.1
Methionin	-23.4	-39.5	-28.9	-26.2	-24.9
Cystein	10.2	-9.13	-27.3	-26.6	-24.8

¹SS = 25% Sojakuchen + 2% Sojaöl; SS- = 20% Sojakuchen + 2% Sojaöl; AA- = Larvenmehl + Fett A; AB- = Larvenmehl A + Fett B; BB- = Larvenmehl B, keine extra Fettzugabe.

Das Körpergewicht am Ende der Mastperiode unterschied sich signifikant zwischen den Versuchsgruppen (Tabelle 2). Tiere der Ration SS unterschieden sich von den Tieren der Gruppen SS- und BB- ($p < 0.05$). Die Rationen AA- und AB- führten dagegen zu vergleichbar schweren Tieren wie Ration SS. Beim Tageszuwachs über die 63 Tage lagen alle Tiere innerhalb des für die biologische Mast vorgegebenen maximalen Zuwachses von 27.5 g/Tag (Bio Suisse, 2021), wobei die Rationen SS- und BB- zu signifikant geringeren Zunahmen führten als die anderen Rationen ($p < 0.05$). Die Zunahmen der Tiere der Fütterungen AA- und AB- waren dagegen vergleichbar mit denen der Kontrollfütterung SS. Entsprechend zeigten die Tiere dieser drei Gruppen eine höhere Futtermittelaufnahme als die Tiere der Gruppen SS- und BB- ($p < 0.05$).

Table 2. Leistungsparameter der Broiler über den Versuchszeitraum (n = 16 Tierdaten für Körpergewicht und Zuwachs, n = 8 Abteildaten für die Futtermittelaufnahme)

Ration ¹	SS	SS-	AA-	AB-	BB-	SEM	P-Wert
Körpergewicht (g)	1558 ^a	1219 ^b	1575 ^a	1520 ^a	1197 ^b	51.8	<0.001
Zuwachs (g/Tag/Tier)	27.1 ^a	20.4 ^b	27.5 ^a	26.4 ^a	19.9 ^b	0.99	<0.001
Futtermittelaufnahme (g/Tag/Tier)	71.6 ^a	63.7 ^b	77.5 ^a	76.0 ^a	60.5 ^b	1.71	<0.001

^{a-b}Mittelwerte mit verschiedenen Hochbuchstaben innerhalb einer Zeile sind signifikant verschieden voneinander ($p < 0.05$). ¹SS = 25% Sojakuchen + 2% Sojaöl; SS- = 20% Sojakuchen + 2% Sojaöl; AA- = Larvenmehl + Fett A; AB- = Larvenmehl A + Fett B; BB- = Larvenmehl B, keine extra Fettzugabe.

Auch die Fleischqualität unterschied sich zwischen den Rationen. Während es zu keinen signifikanten Rationseffekten beim Auftauverlust kam, zeigte das Fleisch der Gruppe BB- einen höheren Kochverlust im Vergleich zu Gruppe SS ($p < 0.05$). Zusätzlich war die maximale Scherkraft mit 15.2 N bei BB- höher als beim Fleisch der Gruppe SS- ($p < 0.05$). Leiber et al. (2017) konnten bei einem partiellen Ersatz des Sojas in der Ration von Broilern durch das Mehl von *Hermetia illucens* Larven ebenfalls Unterschiede im Kochverlust (16.2%) verglichen zur Kontrollration (12.7%) aufweisen, wohingegen es zu keinen Unterschieden in Bezug auf die Scherkraft kam.

Table 3. Fleischqualitätsparameter der Broiler (n = 8/Ration)

Ration	SS	SS-	AA-	AB-	BB-	SEM	P-Wert
Auftauverlust (%)	5.22	6.28	5.02	5.72	7.25	0.558	0.053
Kochverlust (%)	14.3 ^b	15.9 ^{ab}	14.4 ^{ab}	15.3 ^{ab}	17.2 ^a	0.69	0.033
Scherkraft (N)	12.8 ^{ab}	12.1 ^b	12.9 ^{ab}	13.1 ^{ab}	15.2 ^a	0.75	0.064

^{a-b}Mittelwerte mit verschiedenen Hochbuchstaben innerhalb einer Zeile sind signifikant verschieden voneinander ($p < 0.05$). ¹SS = 25% Sojakuchen + 2% Sojaöl; SS- = 20% Sojakuchen + 2% Sojaöl; AA- = Larvenmehl + Fett A; AB- = Larvenmehl A + Fett B; BB- = Larvenmehl B, keine extra Fettzugabe.

Insgesamt deuten die Ergebnisse dieser Untersuchung daraufhin, dass Rationen auf der Basis von *Hermetia illucens* Larven, abhängig von ihrer Herkunft, mindestens einen mit Soja vergleichbaren Nährwert aufweisen können und demnach geeignet sind einen vollwertigen Ersatz für Sojakuchen in der Biobroilerfütterung bieten zu können. Effekte der Larvenaufzucht und deren Prozessierung, die weiter reichen als bisher gedacht, sollten aber zukünftig detaillierter evaluiert werden.

Wir danken dem Mercator Forschungsprogramm des World Food System Centers der ETH Zürich und dem Bundesamt für Landwirtschaft für die Unterstützung dieses Projektes.

Literatur

AOAC (1997): Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA

Bio-Suisse (2021): Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten - Teil II: Richtlinien für den Pflanzenbau und die Tierhaltung in der Schweiz

Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M. and van Loon, J.J.A. (2017): Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *J. Insects Food Feed*, **3**:105-120

Früh, B., Schlatter, B., Isensee, A., Maurer, V. and Willer, H. (2015): Report on Organic Protein Availability and Demand in Europe. *Research Institute of Organic Agriculture (FiBL)*, Frick, Switzerland

Leiber, F., Gelencsér, T., Stamer, A., Amsler, Z., Wohlfahrt, J., Früh, B. and Maurer, V. (2017): Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: effects on growth performance and physical meat quality. *Renew. Agric. Food Syst.* **32**: 21-27.

Modulation of antioxidant effects in fattening bulls and dairy cows by spirulina intake and LPS challenge

M. Keller, E. Manzocchi, R. Lugarà and K. Giller

ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, 8092 Zurich, Switzerland

Contact: Katrin Giller, katrin.giller@usys.ethz.ch

Introduction

Oxidative stress impairs animal health and reduces the productivity of high-yielding livestock. Consequently, it results in financial losses of farmers. Oxidative stress is caused by an imbalance of reactive oxygen species (ROS) and antioxidants, such as non-enzymatic antioxidants (e.g. carotenoids, tocopherols, polyphenols) and antioxidant enzymes (e.g. superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPX)) (Sies, 1986). The accumulation of ROS can severely damage cellular macromolecules and continuously promote ROS production. Controlling or even preventing oxidative stress may thus contribute to the desirable high performance e.g. of dairy cows and fattening bulls.

With regard to antioxidant properties, bioactive feed components have become of interest in farm animal nutrition. One such novel feed rich in bioactive components is the filamentous blue-green microalga *Arthrospira platensis* (spirulina) that has demonstrated antioxidant properties in monogastric species (Gad et al., 2011; Abdel-Daim et al., 2013). This antioxidant effect has been attributed to contents of antioxidants (such as carotenoids, tocopherols, polyphenols, γ -linoleic acid and phycocyanin), as well as an induction of antioxidant enzyme activity (Kalafati et al., 2010; Wu et al., 2016). However, the effects of spirulina on oxidative stress have not yet been investigated in ruminants.

Material & Methods

To investigate potential antioxidant effects of dietary spirulina in ruminants, we performed two experiments: We completely replaced soybean meal (SOY) by spirulina (SPI, Institut für Getreideverarbeitung, Nuthetal, Germany) in the diets of Limousin-sired crossbred fattening bulls (experiment 1, n=6 per group, 4% spirulina) and late-lactating dairy cows (experiment 2, n=6 per group, 5% spirulina). After five months (bulls) and one month (cows) of feeding, blood samples were collected into serum, Na-heparinized and EDTA plasma tubes. The serum and EDTA tubes were centrifuged to

obtain the respective supernatants. The plasma concentrations of typical exogenous antioxidants (β -carotene (HPLC), α -tocopherol (HPLC), polyphenols (photometric method)) as well as the total antioxidant capacity (TAC) of serum were analysed (OxiSelect™ Total Antioxidant Capacity Assay Kit, Cell Biolabs, San Diego, CA). The anticoagulated blood from the Na-heparinized tubes was used to perform *in vitro* whole blood stimulation with the bacterial endotoxin lipopolysaccharide (LPS) in concentrations of 0, 10 and 100 ng/ml for 2 hours at 38°C. Subsequently, the samples were centrifuged to remove the plasma. The peripheral blood mononuclear cells (PBMCs) were isolated from the resulting pellet via erythrocyte lysing using ice-cold ACK lysing buffer. From the isolated PBMCs, total RNA was extracted (RNeasy Micro Kit, Qiagen, Venlo, The Netherlands) and reversely transcribed to cDNA (GoScript™ Reverse Transcription System, Promega, Duebendorf, Switzerland). To determine the expression of seven antioxidant-defence related genes (CAT, GPX1, glutathione reductase (GSR), NAD(P)H quinone oxidoreductase 1 (NQO1), nuclear factor erythroid-derived 2 like 2 (NFE2L2), SOD1, SOD2), qPCR was performed using the KAPA Sybr Fast Mix (Kapa Biosystems, Wilmington, USA) on a CFX384 Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, Munich, Germany). The statistical analysis was performed using SPSS version 26 (SPSS GmbH Software, Munich, Germany) separately for both experiments. Plasma and serum parameters were analysed using Student's t-test. A general linear model was used with diet group (SOY, SPI), LPS concentration (LPS0, LPS10, LPS100) and their interaction as fixed factors. Differences in means were controlled for multiple comparisons using Games-Howell post hoc test. Statistical significance was defined as $P \leq 0.05$.

Results

The β -carotene plasma concentration was higher ($P < 0.001$) in SPI compared to SOY dairy cows whereas no difference was observed in fattening bulls. Plasma concentrations of α -tocopherol and serum TAC did not significantly differ between diet groups in any of the experiments. In bulls, plasma total phenol concentration was significantly higher ($P = 0.045$) in the SPI compared to SOY group whereas this difference was not observed in the dairy cows.

In fattening bulls, the expression of the transcription factor *NFE2L2* and the enzymes *CAT* and *SOD1* was not significantly affected by diet or LPS stimulation. The expression of *SOD2* and *GSR* was significantly increased and decreased, respectively, by LPS10 and LPS100 compared to LPS0 (all $P < 0.05$) without any diet effect. For *GPX1*, no effect of LPS on expression was observed in the SOY group whereas LPS10 decreased ($P = 0.008$) the expression compared to LPS0 in the SPI group. A

contrasting pattern was observed for *NQO1* with no LPS effect in the SPI group but an increase ($P=0.040$) in LPS100 compared to LPS0 in the SOY group.

In dairy cows, the expression of *NFE2L2*, *GPXI*, *SOD1*, *NQO1* and *GSR* did not differ due to diet or LPS stimulation. The expression of *CAT* was lower in PBMCs obtained from SPI (LPS100 versus LPS0, $P=0.049$) but not from SOY cows. A significant increase in *SOD2* expression was observed only in the SOY group (LPS10 versus LPS0, $P=0.049$).

Discussion & Conclusion

The differing effects of spirulina intake on blood antioxidant concentrations observed in the two experiments show that even in the same species, beneficial effects of spirulina are not consistent. This may however also be related to factors such as the differing duration and dosage of spirulina supplementation, the differing basal diet and sex differences in the two experiments. At unstimulated stages, spirulina did not modify antioxidant gene expression of PBMCs compared to soy-fed animals. Also after LPS stimulation, only few differences between SPI and SOY animals were observed. Our results indicate that despite increasing the β -carotene (dairy cows) and total phenol (fattening bulls) plasma concentration, spirulina might not have antioxidant properties similar to those observed in monogastric species when fed at 4–5% dry matter. Potential reasons are rumen degradation of other key bioactive compounds such as phycocyanin and rumen biohydrogenation of γ -linoleic acid. Future studies should evaluate the microbial degradation of spirulina and its compounds including their bioavailability to provide further data on potential beneficial health effects in ruminants also with regard to dosage and duration of spirulina feeding.

References

- Abdel-Daim, M.M., Abuzead, S.M. and Halawa, S.M. (2013): Protective role of *Spirulina platensis* against acute deltamethrin-induced toxicity in rats. *PLoS ONE* **8**: e72991
- Gad, A.S., Khadrawy, Y.A., El-Nekeety, A.A., Mohamed, S.R., Hassan, N.S. and Abdel-Wahhab, M.A. (2011): Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and Spirulina in rats. *Nutrition* **27**: 582–589
- Kalafati, M., Jamurtas, A.Z., Nikolaidis, M.G., Paschalis, V., Theodorou, A.A., Sakellariou, G.K., Koutedakis, Y. and Kouretas, D. (2010): Ergogenic and antioxidant effects of spirulina supplementation in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2**: 142-151
- Sies, H. (1986): Biochemistry of Oxidative Stress. *Angew. Chem. Int. Ed. English* **25**: 1058-1071
- Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., Kuča, K. (2016): The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview. *Arch. Toxicol.* **90**: 1817-1840. §

Effects of a high energy diet and spirulina supplementation of sows on growth, carcass and meat quality of their offspring

R. Lugarà, M. Kreuzer and K. Giller

Institute of Agricultural Sciences, ETH Zurich, Universitaetsstrasse 2, 8092 Zurich, Switzerland

Contact: Rosamaria, Lugarà, rosamaria.lugarà@usys.ethz.ch

Introduction

The concept of developmental programming suggests that any change in maternal nutrition during critical developmental periods may permanently affect the physiology and metabolism of the offspring (Barker and Osmond, 1986). Hence, in livestock species, this programming might have an impact on animal production traits as well. Indeed, evidence in the literature shows how increasing maternal allowance during gestation might have an impact on the offspring's postnatal growth and, later on, on meat quality (Cerisuelo et al., 2009). Although in rodent models, it has been extensively demonstrated that male and female offspring react differently to maternal dietary habits (Vickers et al., 2011), very little is known about the sex-specific maternal effects on livestock productivity. *Arthrospira platensis* (spirulina, Sp) is a blue-green microalga that has a variety of presumed health effects. It is a rich source of protein (60–70% of its dry weight), vitamins, various minerals, essential and semi-essential fatty acids (FA), polyphenols and various pigments (Holman and Malau-Aduli, 2013). Dietary spirulina may not only lead to improvements in health aspects but also affect productivity and product quality of livestock. However, no literature describing the effects of maternal spirulina intake on offspring productivity and product quality is available to date.

Materials and Methods

The animal experiment was performed in two replicates because of capacity reasons: the first taking place from 2019 to 2020 and the second from 2020 to 2021. Nineteen gilts (Landrace × Large White, 5 months old, initial body weight (BW) of 119±8 kg (mean ± standard deviation (SD)), same father) were randomly assigned to two dietary groups (n=9–10 per group). While the control diet (CTR) was based on commercial recommendations for gestating and lactating sows, the experimental diet (WES) contained high proportions of saturated lipids (15% hydrogenated palm oil), sugars (15% fructose, 20% sucrose) and cholesterol (0.2%). After an initial feeding period of two months, gilts were artificially inseminated with sperm from the same boar. The spirulina (Sp) supplementation (20 g/day) was started and continued during the entire gestation and lactation period for part of each dietary group, resulting in four experimental groups, CTR (n=5), CTR+Sp (n=5), WES (n=5),

WES+Sp (n=4). At farrowing, the average birth weight per litter was calculated and experimental animals were selected as two females and two entire males closest to the respective litter average (n=14–20 per dietary group). After weaning, pigs were fed *ad libitum* with a commercial feed for starting and growing pigs and their BW was registered weekly. Fattening pigs were slaughtered at 102±6 kg. At slaughter, organ weights and hot carcass weight (CW) were registered. At 24 h *p.m.*, the *Longissimus thoracis* (LT) muscle was excised and the isolated muscle was cut into five slices, later used for analyses of meat quality, including water holding capacities (thaw loss and cooking loss), Warner-Bratzler shear force and colour (L*: lightness; a*: redness; b*: yellowness). All statistical analyses were performed using Rstudio version 1.4. A linear mixed effect model (lme4 package) was used with maternal diet, spirulina supplementation, sex, and all possible interactions as fixed effects and mother, year, and slaughter dates as random effects. Pairwise comparisons were performed among estimated marginal means (emmeans package) using the Tukey pairwise comparison test. Data are presented as least square means ± standard errors of the mean (SEM). Statistical significance was defined as $p < 0.05$ and $p < 0.1$ was considered a trend.

Results

The offspring of sows with Sp supplementation tended to have a lower BW at birth, and at weaning their BW was even significantly lower than that of the respective unsupplemented groups (Table 1). This did however not influence the age at which the targeted slaughter weight was reached. The dressing percentage of the female offspring was significantly higher than that of the male offspring, although the CW was not affected by either Sp supplementation or sex. The liver weight proportion to CW tended to be higher in offspring of Sp supplemented mothers and was significantly higher

Table 1. Effects of spirulina supplementation and sex on growth, carcass and meat quality.

	spirulina supplementation				Sex			
	-Sp	+Sp	SEM	p	M	F	SEM	p
<i>Growth performance</i>								
Body weight (kg)								
At birth	1.77	1.58	0.07	#	1.72	1.63	0.06	<i>n.s.</i>
At weaning (kg)	10.2	8.29	1.07	*	9.31	9.18	1.01	<i>n.s.</i>
Age at slaughter (d)	134	138	1.84	<i>n.s.</i>	135	138	1.87	<i>n.s.</i>
<i>Slaughter performance</i>								
Carcass weight, hot (kg)	80.1	77.1	2.12	<i>n.s.</i>	79.0	78.2	1.27	<i>n.s.</i>
Dressing percentage (%)	77.9	77.8	0.70	<i>n.s.</i>	77.5	78.1	0.63	**
<i>Organ weight (g/kg carcass weight)</i>								
Liver	18.5	19.5	0.53	#	19.4	18.5	0.51	*
Perirenal adipose tissue	9.94	9.48	0.61	<i>n.s.</i>	8.57	10.8	0.57	***
Kidneys	4.10	4.27	0.14	<i>n.s.</i>	4.31	4.06	0.14	*
<i>Water holding capacity (%)</i>								
Thaw loss	10.6	11.2	2.41	<i>n.s.</i>	11.4	10.4	0.57	*

Sp=spirulina; M=male; F=female; *n.s.*=not significant; # $p < 0.1$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

in males compared to females. Females had a higher perirenal adipose tissue weight proportion and a lower kidney weight proportion to CW than males. Regarding the combined fixed effects, female offspring from unsupplemented sows had a higher dressing percentage than the males; however, no sex-specific difference was found for offspring from sows that received Sp supplementation throughout gestation and lactation (Table 2). Moreover, the female offspring from unsupplemented sows had a significantly lower liver proportion to CW than the males of both supplemented and unsupplemented sows and compared to the females of the supplemented sows as well. Finally, while no effect was found on meat colour and shear force, a trend was observed for a two-way sex \times maternal diet interaction for both heart weight proportion to CW and cooking loss.

Table 2. Combined effects of maternal diet, spirulina supplementation and offspring sex on carcass and meat quality.

Maternal diet (D)	CTR		WES				SEM	p			
	Supplementation (Sp)										
Sex (S)	-Sp	+Sp	-Sp	+Sp	-Sp	+Sp	M	F	S \times D	S \times Sp	
<i>Slaughter performance</i>											
Dressing percentage (%)	76.1 ^a	78.9 ^b	77.0	77.4	75.4 ^a	77.8 ^b	77.3	78.1	1.14	<i>n.s.</i>	*
<i>Organ weight (g/kg carcass weight)</i>											
Liver	19.1 ^c	17.7 ^a	19.8 ^d	19.4 ^{bcd}	19.8 ^c	17.4 ^a	19.0 ^d	19.6 ^{bcd}	0.87	<i>n.s.</i>	*
Heart	4.00	5.19	5.08	4.91	5.09	4.83	4.94	4.98	0.40	#	<i>n.s.</i>
<i>Water holding capacity (%)</i>											
Cooking loss	24.2	23.7	24.3	27.1	25.7	26.2	22.4	16.4	2.48	#	<i>n.s.</i>

CTR=Control; WES=Western; Sp=spirulina; M=male; F=female; *n.s.*=not significant; # p <0.1; * p <0.05.

Discussion and conclusions

Inadequate maternal nutrition during gestation and lactation can negatively influence the growth and development of the offspring. In the case of livestock species, this might translate into poor performance and product quality. Hence, to maximize production efficiency, adequate maternal nutrient supply is crucial. The microalga spirulina has proven to be a rich source of nutrients and to have beneficial effects when directly fed to livestock (Holman and Malau-Aduli, 2013). However, studies on the potential effects of maternal Sp supplementation during gestation and lactation on offspring growth and productivity are missing. In the present study, an increased maternal intake of dietary fat and sugars had no impact on offspring growth and the resulting carcass and meat quality. Interestingly, maternal Sp supplementation resulted in a lower BW at weaning, and in a trend at birth independent of the maternal diet. These results are partially in agreement with previous findings, stating that an initially low BW translates into a low growth rate of the animal in the growing phase (Quiniou et al., 2006). The lower dressing percentage and higher liver and kidney weight proportion observed in the entire males in the present study are in accordance with the literature (Babol and Squires, 1995).

Despite their impact on growth and slaughter performance, maternal diet and Sp supplementation had no effect on the offspring meat quality in the present study. Literature data on the effects of maternal diet on offspring meat quality are contradictory as well. While Nissen et al. (2003) showed that increasing maternal dietary intake had no impact, Cerisuelo et al. (2009) showed a negative impact on the offspring's meat quality, such as decreased lightness and increased ultimate pH. These parameters were however not affected in the present study. As for maternal Sp supplementation, no research in offspring has been conducted so far. In conclusion, this study points towards a slightly negative effect of maternal Sp supplementation on offspring growth performance. Importantly, this negative effect was not large enough to affect the fattening period, resulting only in a minor economic disadvantage. To further investigate this, as well as the observed sex-specific effect on the slaughter performance, future investigations are required to better understand the consequences of maternal spirulina supplementation. This is also important with regard to the potential application of spirulina as a protein source alternative to soybean protein.

References

- Barker, D.J.P. and Osmond, C. (1986): Diet and coronary heart disease in England and Wales during and after the second world war. *J. Epidemiol. Commun. Health* **40**: 37-44
- Cerisuelo, A., et al. (2009): Increased sow nutrition during midgestation affects muscle fiber development and meat quality, with no consequences on growth performance. *J. Anim. Sci.* **87**: 729-739
- Vickers, M.H., et al. (2011): Maternal fructose intake during pregnancy and lactation alters placental growth and leads to sex-specific changes in fetal and neonatal function. *Endocrinol.* **152**: 1378-1387
- Holman, B.W.B. and Malau-Aduli, A.E.O. (2013): Spirulina as a livestock supplement and animal feed. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **97**: 615-623
- Quiniou, N., et al (2006): Low birth weight is associated with enlarged muscle fiber area and impaired meat tenderness of the longissimus muscle in pigs. *J. Anim. Sci.* **84**: 93-103
- Babol, J. and Squires, E.J. (1995): Quality of meat from entire male pigs. *Food Res. Int.* **28**: 201-212
- Nissen, P.M., et al (2003): Increased maternal nutrition of sows has no beneficial effects on muscle fiber number or postnatal growth and has no impact on the meat quality of the offspring. *J. Anim. Sci.* **81**: 3018-3027.

Folgen der Bio-Kraftfutterreduktion bei Milchziegen

K. Messmer und M. Boessinger

ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Tierernährung, 8092 Zürich, Schweiz

Kontakt: Marc Boessinger, marcandreas.boessinger@usys.ethz.ch

Ausgangslage und Ziel der Arbeit

Ab dem 1.1.2022 reduziert die Bio-Suisse die Kraftfutтереinsatzgrenze für Wiederkäuer von 10% auf 5%. Eingesetzte Futtermittel müssen zudem zu 100% aus Schweizer Anbau stammen (Brändli, 2020). Gemäss einer Studie (Schmid und Lips, 2019) setzen heute rund 55% der Biobetriebe mehr als 5% Kraftfutter ein. Die Berechnungen basieren hierbei auf Buchhaltungsdaten und berücksichtigen neben Milchziegen auch Milchkühe und Milchschafe. Diverse Studien belegen zudem, dass in der Schweiz 95% der Biobetriebe mit Verkehrsmilch einen Grasanteil von über 80% aufweisen. Die grössten Herausforderungen werden für Biobetriebe in der Bergzone mit hoher Milchleistung erwartet.

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Konradin Messmer, Student ETH Zürich, war zu untersuchen, wie stark Bio-Ziegenbetriebe, insbesondere im Berggebiet, von den neuen Kraftfutterrestriktionen betroffen sind, welche Milchleistung unter Berücksichtigung der Restriktion noch erwartet werden kann und welche Mindestqualität das Grundfutter dabei erreichen muss. Des Weiteren sollte untersucht werden, wie eine Futtermischung für Biomilchziegen zusammengestellt werden sollte, um sowohl die Anforderungen einer phasengerechten Fütterung zu erfüllen, dem selektiven Fressverhalten der Ziege zu entsprechen, und auch der neuen Kraftfutterrestriktion von Bio Suisse gerecht zu werden. Abschliessend sollten Empfehlungen für Betriebe abgeleitet, welche aktuell eine Kraftfuttermenge von 5% noch überschreiten.

Umfrage unter Bio-Milchziegenbetrieben

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde eine Online-Umfrage unter Bio-Betrieben durchgeführt. Angefragt wurden über den Schweizerischen Ziegenzuchtverband rund 200 Ziegenhaltende, welche das Kriterium « ≥ 10 Milchziege » erfüllten. Der Fragebogen wurde von 34 Betriebsleitenden auswertbar beantwortet. Die Umfrage wurde in 6 Abschnitte unterteilt. Im Abschnitt 1, Standort und Flächenausstattung, wurden Unterschiede bezüglich Höhenlage und Landwirtschaftszone erhoben.

Die Landwirtschaftliche Nutzfläche und der Anteil an Dauergrünland (Wiesen und Weiden) ermöglichen Rückschlüsse auf das Potenzial zur Produktion von eigenem Kraftfutter. Im Abschnitt 2, Tierhaltung und Milchproduktion, wurden die Anzahl Ziegen nach Kategorien (Milchziegen, Böcke, Jungziegen, Gitzi) ermittelt. Erfasst wurden zudem Rasse, Jahresmilchmenge, Milchleistung pro Ziege, Dauer der Laktation und Art der Milchverwertung. In Abschnitt 3 wurden die Futterrationsstypen im Winter bzw. im Sommer erhoben. Aufgeteilt in Grundfutter, Kraftfutter, Mineralstoff- und Vitaminangebot wurde der prozentuelle Anteil der Futterkomponenten erhoben sowie der Kraftfutteranteil und die jeweils phasenspezifische Fütterung ermittelt. In Abschnitt 4 sollten die Betriebsleitenden ihre Pflanzenbestände der Wiesen und Weiden einschätzen und angeben, wie sie allenfalls in Zukunft die Grundfutterqualität zu steigern gedenken. Um zu erheben wie viel Futter zugekauft wird, nannten die Befragten die entsprechenden Mengen an Raufutter und Kraftfutter. Der Abschnitt 5, Rationsplanung, galt den Fragen, ob die Betriebe Futterrationen für ihre Tiere rechnen und betriebspezifische Analysen des Grundfutters erfolgen? Im letzten Abschnitt 6, interessierte die Beantwortung von Fragen, die auf die Zukunft ausgerichtet waren, so z.B. ob die Möglichkeit besteht in Zukunft betriebseigenes Kraftfutter anzubauen. Die Betriebsleitenden hatten zudem die Möglichkeit ihre Bedenken zur neuen Kraftfutterrestriktion zu äussern und gaben an, welche betrieblichen Auswirkungen sie erwarten.

Die wichtigsten Resultate

Standort und Flächenausstattung: Rund 22 der 34 befragten Betriebe liegen in den Kantonen Bern und Graubünden. Dabei befinden sich rund die Hälfte der Betriebe in der Bergzone III und IV. Für diese Betriebe ist es schwierig Ackerbau zu betreiben, wodurch mehrheitlich die gesamte Nutzfläche als Dauergrünland bewirtschaftet wird.

Tierhaltung: Bei den Ziegenrassen werden die Hauptrassen Saanenziege, Gemsfarbige Gebirgsziege und die Toggenburger Ziege gehalten. Kreuzungstiere und gefährdete Rassen waren auch vertreten. Die Spannweite der durchschnittlichen Milchleistung pro Ziege und Jahr liegt zwischen 250-900 Kilogramm. Der Grossteil der Betriebe weist eine durchschnittliche Milchleistung von 500 bis 700 Kilogramm auf. Rund 64% der Betriebe nutzen die Ziegenmilch zur Käseherstellung in Selbstvermarktung. Mehr als die Hälfte der Tiere werden gealpt, was für die Rationsgestaltung entscheidend ist. Auf der Alp besteht die Futterrationsration aus Weidefutter, welches selten und nur mit wenig Kraftfutter ergänzt wird.

Fütterung, Futtermittel, Phasenfütterung: Die Auswertung der Daten ergab, dass in der Sommerfütterung hauptsächlich gealpt und geweidet wird, weshalb der Fokus der Rationsgestaltung auf der Winterfütterung liegt. Durch die Vorgabe der Bio Suisse, bezüglich einem Mindestanteil an Wiesen-

und Weidefutter von 85% in der Bergzone, sind die Rationen durchwegs ähnlich gestaltet. Betriebe, welche die Milch nicht zur Käseproduktion nutzen, haben zudem die Möglichkeit Silage zu füttern. Als Energieausgleichsfutter kommen Mais (Würfel oder Silage), Zuckerrübenschnitzel oder Biertreber zum Einsatz. Die Rationen werden nur selten mit Kraftfutter ergänzt. Von den 34 Befragten gaben nur 5 Betriebe an, mehr als 5% Kraftfutter einzusetzen. Rund 41% der Befragten füttern häufiger als 3 Mal pro Tag. Mehr als die Hälfte der Betriebe füttert spezifisch nach der Reproduktionsphase der Milchziege. Alle Betriebe die phasenspezifisch füttern setzen in der Startphase Kraftfutter ein. Eine Transitphasenfütterung mit Kraftfutterzulage wird auf 9 Betrieben praktiziert. Die Energieversorgung in der Startphase wird mehrheitlich mit gutem Grundfutter, Maiswürfeln oder Kraftfutter optimiert und durch die BCS-Beobachtung der Tiere sichergestellt. Nur gerade 23% der Betriebsleitenden nutzen die Interpretation der Daten der Milchleistungsprüfung, um die Nährstoffversorgung ihrer Tiere zu beurteilen.

Grundfutterqualität und Rationsplanung: Zur möglichen Optimierung der Grundfutterqualität gaben 14 Betriebe an keine Massnahmen zur Verbesserung ergreifen zu wollen; 13 Betriebe werden versuchen in Zukunft ihre Pflanzenbestände zu verbessern. Die Installation einer Heubelüftung oder eines Luftentfeuchters kommt für 11 Betriebe in Frage. Weitere Möglichkeiten werden in Bereitung und Einsatz von Silage oder in der Rationalisierung der Erntetechnik erkannt. Nur gerade 5 Betriebe planen und berechnen die Futterration. Als jeweilige Begründung gaben die Betriebe an, keine Spitzenleistung der Tiere zu erwarten und über keine Analysen des Grundfutters zu verfügen. Als weitere Gründe für eine eher bescheidene Grundfutterqualität wurde genannt, die Ziegenhaltung nur extensiv oder als Hobby zu betreiben. Viele Betriebsleitende verlassen sich bei der Rationsplanung eher auf die Tierbeobachtung. Dabei wird häufig auch die Kotkonsistenz als Indikator für die Eiweissversorgung beigezogen.

Anpassungen an die zukünftige Kraftfutterrestriktion

Rund 15 Betriebe haben keine Möglichkeit betriebseigenes Kraftfutter herzustellen und wären daher auch in Zukunft auf den Zukauf angewiesen. Als Anpassungsstrategie auf die Kraftfutterrestriktion wird von daher eher die Verbesserung der Grundfutterqualität, die Fokussierung auf die Tierzucht oder den spezifischen Einsatz von konzentriertem Kraftfutter, bei weniger als 5% Rationsanteil, gewählt. Als weitere Optionen haben die Befragten den gezielten Einsatz von Leguminosen wie Weisklee oder Luzerne als Proteinträger, eine Extensivierung der Haltung oder gar die Aufgabe der Ziegenhaltung genannt. Ein Grossteil der Befragten befürwortet dennoch grundsätzlich die Kraftfutterrestriktion. Einige Betriebsleitende befinden, dass dies ein zu grosser Eingriff in die Entscheidungs-

freiheit des Tierhaltenden sei. Sie befürchten, dass Tiere mit hohen Milchleistungen nicht mehr bedarfsgerecht gefüttert werden könnten und die Tiergesundheit darunter leiden wird. Rund 25 von 34 Befragten rechnen grundsätzlich nicht mit grossen Auswirkungen, welche durch die Kraftfutterrestriktion verursacht werden.

Schlussfolgerungen und Fazit

Die Resultate der Umfrage zeigten, dass bereits 85% der befragten Betriebe weniger als 5% Kraftfutter einsetzen, was deutlich über den Werten früherer Studien liegt. Im Rahmen der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die physiologische Leistungsgrenze anlässlich einer Kraftfutterreduktion auf 5% für Milchziegen bei 3 Kilogramm Milch pro Tier und Tag liegt. Die Grundfutterqualität von Dürrfutter oder Silage in Winterrationen sollte jenem eines frühen Nutzungsstadium des Pflanzenbestandes, z.B. dem Stadium 3, Beginn Rispenschieben bis Stadium 4, volles Rispenschieben der Gräser liegen. Je ausgeglichener die Grundfütterration punkto Eiweiss und Energie ist, desto geringer sind die zu erwartenden Leistungseinbussen. Eine phasengerechte Fütterungsplanung und ein gezielter Einsatz hochwertiger Grund- und Ergänzungsfuttermittel ermöglicht auch in Zukunft mit nur 5% Kraftfutteranteil eine bedarfsgerechte Ziegenfütterung (Kessler et al, 2017). Bei den modellierten Futterrationen (es wurden zahlreiche Winter- und Sommer-Futterrationen mittels dem Excel-Rationskalkulation-Tool «FUPLAN» von AGRIDEA modelliert und gerechnet) war, entgegen der Erwartungen, oftmals nicht das Protein die limitierende Komponente der Milchproduktion, sondern die Energie. Durch eine gute Versorgung mit energiereichen Biokraftfuttermitteln aus inländischer Produktion werden die Milchziegenhalter weniger stark von der neuen Kraftfutterrestriktion betroffen sein als Milchschafter mit höheren Milchgehalten an Fett und Eiweiss. Optimale Rationen für silofreie Betriebe ergaben sich in der Kombination von gutem Heu und Maiswürfeln. Das beste Ergebnis für Betriebe mit Silage ergab sich in der Kombination von ca. 50% Grassilage und zu gleichen Prozentanteilen Heu, Maissilage und Zuckerrübenschnitzel. Ein Vergleich mit Milchschafern zeigte, dass diese stärker von der neuen Kraftfutterrestriktion betroffen sind, während es in Zukunft auch für Milchziegenhalter im Berggebiet möglich sein sollte ihre Milchziegen leistungsgerecht zu füttern.

Literatur

Brändli, U.(2020): Bio Suisse Richtlinien 2020: s. 140

Kessler, J., Daccord, R., Arrigo, Y. (2013): Fütterungsempfehlungen für die Ziege; Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer, Hrsg. Agroscope, Posieux. 2017, S. 1-13

Schmid, D., Lips, M. (2019): Bio-Milch: Wieviel Kraftfutter setzen die Betriebe ein?; Agrarforschung Schweiz 10 (1): S. 20-25.

Futtermittel für Wildtiere - Für Tier? Oder Mensch?

A. Gimmel und A. Liesegang

Institut für Tierernährung, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich, Schweiz

Kontakt: Annette Liesegang; aliesel@nutrivet.uzh.ch

Einleitung

Die Fütterung von Wildtieren und insbesondere Wildvögeln ist weit verbreitet und sehr populär (Jones et al., 2008). In den Vereinigten Staaten zum Beispiel wird geschätzt, dass über 82 Millionen Personen im Garten Vögel füttern, dafür insgesamt über 450 Millionen Kilogramm Vogelfutter kaufen und dabei über 3.5 Milliarden US-Dollar ausgeben. (Jones et al., 2008). Zahlen für Grossbritannien und Europa liegen bei geschätzten 440 Millionen US-Dollar, respektive 220 Millionen US-Dollar, die jährlich für Vogelfutter ausgegeben werden (Jones et al., 2008). Gemäss einer Schätzung aus Grossbritannien werden mit diesem Futter hypothetisch 196 Millionen Individuen der 10 häufigsten Gartenvögel zu 100% mit Energie versorgt. Zum Zeitpunkt der Studie wurden von diesen 10 häufigsten Gartenvögel 71 Millionen Individuen gezählt (Orros et al., 2015). Der Eintrag in die Umwelt von Vogelfutter ist also geschätzt 3x höher als der Bedarf (Orros et al., 2015). Die Gründe, warum wir Wildtiere füttern, sind vielfältig und beinhalten Freizeit und Freude, Forschung, Bildung, Tourismus und Aufgaben des Wildtiermanagements (Murray et al., 2016). Viele Verbraucher sind jedoch überfordert mit dem Lesen und Interpretieren von Futtermittel-Etiketten (Gerstner et al., 2020). Als Käufer nimmt man an, dass für Wildtiere vermarktete Futtermittel gut und speziell für die jeweiligen Tierarten hergestellt wurden. In dieser Studie wurde untersucht, ob die im Handel erhältlichen Wildvogelfutter mit der Futtermittel-Gesetzgebung (SR 916.307 & SR 916.307.1) konform sind bezüglich Kennzeichnung, Aufmachung und Verpackung.

Methode

Dazu wurden die Etiketten von drei im Handel erhältlichen Ergänzungsfuttermitteln für freilebende Vögel überprüft. Die vom Etikett abgelesenen Informationen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Resultate

Beim Lesen der Etiketten fallen verschiedene Punkte auf. Alle werden gesetzeskonform als Ergänzungsfuttermittel bezeichnet. Der Feuchtegehalt ist nur bei einem Produkt deklariert, wobei

dieser mit 12% gemäss Gesetzgebung nicht deklariert werden müsste. Das Verzeichnis der Einzelfuttermittel ist bei allen Futtermitteln vorhanden, sowohl Kategorien wie auch Einzelfuttermittel wird im Verzeichnis verwendet. Das im Futter 3 erwähnte Pflanzenöl ist jedoch keine Kategorie gemäss Futtermittel-Gesetzgebung. Die Kennzeichnung der analytischen Bestandteile ist nur bei Futter 2 aufgeführt, nicht jedoch bei Futter 1 und 3. Dies mag erstaunen, jedoch ist dies gesetzeskonform, da es sich um ein Ergänzungsfutter handelt. Die Gesetzgebung unterscheidet zwischen «nicht der Lebensmittelgewinnung dienendes Tier», also Heimtier und «der Lebensmittelgewinnung dienendes Tier», also Nutztier. Als Heimtier gilt jedes Tier, das zu einer Tierart zählt, die gefüttert, gezüchtet oder gehalten wird, in Europa üblicherweise jedoch nicht zum menschlichen Verzehr verwendet wird. Somit werden die allermeisten Gartenvögel gemäss Futtermittel-Gesetzgebung zu den Heimtieren gezählt, da sie in Europa nicht üblicherweise zum menschlichen Verzehr genutzt werden. Die analytischen Bestandteile von Ergänzungsfuttermitteln (ausgenommen Mineralfuttermittel) für Heimtiere müssen nur bei Katzen, Hunden und Pelztieren auf der Etiketle vermerkt werden und sind bei Wildvogelfutter somit freiwillig. Das Gesetz besagt, dass die Kennzeichnung und die Aufmachung von Einzel-, Misch- und Diätfuttermitteln die Verwenderin oder den Verwender nicht irreführen dürfen. Futter 1 wird als «Insektentafel» vermarktet. Somit suggeriert es dem Käufer, dass das Futter zum einen spezifisch für Insektenfresser (Tierkategorie) konzipiert ist und zum anderen mehrheitlich aus Insekten besteht (Zusammensetzung). Da das Verzeichnis der Einzelfuttermittel in absteigender Reihenfolge nach Gewicht angegeben wird, besteht dieses Futter hauptsächlich aus Getreide, Ölen & Fetten sowie Saaten. Die analytischen Bestandteile sind nicht aufgeführt und können daher nicht zu Rate gezogen werden, um zu überprüfen, ob dieses Futter tatsächlich für insektivore Vögel geeignet ist. Insekten sind normalerweise protein- und fettreich und arm an löslichen Kohlenhydraten (Finke, 2002). Ohne genauere Angaben kann jedoch angenommen werden, dass das Futter 1 nicht der natürlichen Nahrung eines Insektenfressers entspricht. Die Kennzeichnung und die Aufmachung von Futter 1 ist somit irreführend. Das gleiche gilt für Futter 2. Es wird als Fettpellet vermarktet. Somit suggeriert es dem Käufer, dass das Futter mehrheitlich aus Fett besteht (Zusammensetzung). Gemäss analytischer Bestandteile liegt der Fettgehalt bei 12.5% und der Gehalt an Stickstoff-freien Extraktstoffen (NfE) bei 67%. Die NfE werden berechnet und beinhalten α -glykosidisch gebundene Polysaccharide (Stärke, Glykogen), lösliche Zucker, sowie lösliche Teile von Zellulose, Hemizellulosen und Pektinen (Kamphues et al., 2014). Somit enthält Futter 2 einen hohen Anteil an Kohlenhydraten und nur einen kleinen Teil Fett. Die Kennzeichnung und die Aufmachung von Futter 2 ist somit auch irreführend. Bei Futter 3 wird damit geworben, dass der Käufer einen wertvollen Beitrag zum Schutz

unserer heimischen Vogelarten leisten kann, indem er dieses Futter füttert. Das ist irreführend. Die Literatur bezüglich der Fütterung von Wildvögeln nennt zwar positive Effekte (weniger Zeit/Energie wird gebraucht für die Futtersuche, höhere Körpergewichte und somit höhere Chancen bezüglich Fortpflanzung) aber auch negative Effekte (Förderung einzelner Arten, Übertragung von Krankheiten) (Murray et al., 2016). Alle Studien sind sich einig, dass die wissenschaftliche Sachlage bezüglich der Wildvogelfütterung ungenügend ist und mehr darüber geforscht werden muss (Murray et al., 2016). Daher ist es nicht gesichert, dass die Fütterung von Wildvögeln zu deren Schutz beiträgt.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Futter für Wildtiere ebenfalls der Futtermittel-Gesetzgebung unterliegen und daher auch entsprechend kontrolliert werden sollte. Ausserdem wäre es sinnvoll, bei Ergänzungsfuttermitteln für Heimtiere auch bei anderen Tierarten ausser Hund, Katze und Pelztiere gesetzlich die analytischen Bestandteile Rohprotein, Rohasche, Rohfett, Rohfaser und Feuchtigkeit in der Gesetzgebung zu verankern.

Tabelle 1: Informationen von drei verschiedenen Wildtierfutter bezüglich Kennzeichnung, Aufmachung und Verpackung.

	Futter 1	Futter 2	Futter 3
Futtermittelart	Ergänzungsfuttermittel für freilebende Wildvögel	Ergänzungsfuttermittel für freilebende Vögel	Ergänzungsfuttermittel für freilebende Vögel
Feuchtegehalt	Nicht deklariert, daher < 14 %	12 %	Nicht deklariert, daher < 14 %
Verzeichnis der Einzelfuttermittel	Getreide, Öle und Fette, Saaten, Insekten (Mehlwürmer 1.5%), Mineralstoffe	Öle und Fett, Weizenmehl, Weizenstärke, Erdnussmehl	Geschälte Sonnenblumenkerne, Weizenflocken, geschälter Hafer, Haferflocken, gehackte Erdnusskerne, Pflanzenöl
Analytische Bestandteile	keine	Protein 7%, Fettgehalt 12.5%, Rohfaser 0.3%, Rohasche 1.2%	keine
Nettomasse	300 g	900 g	900 g
Futtermittel-zusatzstoffe	Keine deklariert	Keine deklariert	Keine deklariert
Zusätzliche Angaben	Ganzjahresfutter, Insektentafel, Kerngesund, Ambrosia kontrolliert, für mehr Vögel	All-season wildbird nutrition, Fettpellets, reines Naturprodukt, Beginnen Sie rechtzeitig mit der Fütterung	Ganzjahresfutter für mehr Vögel, Ambrosia kontrolliert, ohne Schalenreste, Ausgewogene Mischung, Mit besten Rohstoffen, Reich an Nährstoffen, Leisten Sie einen wertvollen Beitrag zum Schutz unserer heimischen Vogelarten.

Literaturverzeichnis

Finke, M.D. (2002): Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol*: Published in Affiliation with the American Zoo and Aquarium Association, **21**(3): 269-285

Gerstner, K., & Liesegang, A. (2020): How do Swiss dog owners visiting a dog exhibition understand feed labels? *J Anim Physiol Anim Nutr.* 00: 1-5

Jones, D.N., & Reynolds, S.J. (2008): Feeding birds in our towns and cities: a global research opportunity. *J. Avian Biol* **39**(3): 265-271

Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., ... & Zentek, J. (Eds.). (2014): *Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis*. Schlütersche

Murray, M.H., Becker, D.J., Hall, R.J. & Hernandez, S.M. (2016): Wildlife health and supplemental feeding: a review and management recommendations. *Biol. Conserv.*, **204**: 163-174

Orros, M. E., & Fellowes, M. D. (2015). Wild bird feeding in an urban area: intensity, economics and numbers of individuals supported. *Acta Ornithol.*, **50**(1): 43-58

SR 916.307 Verordnung über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln (Futtermittel-Verordnung, FMV) vom 26. Oktober 2011 (Stand am 1. Juli 2020). Retrieved from <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20092464/index.html>

SR 916.307.1 Verordnung des WBF über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung und Diätfuttermitteln (Futtermittelbuch-Verordnung, FMBV) vom 26. Oktober 2011 (Stand am 1. Januar 2020). Retrieved from <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20092465/index.html>.

Optimierung der Schweizer Futtermittelbewertung für Wiederkäuer mit Blick auf Deutschland und Frankreich

S. Buri¹ und M. Boessinger¹

¹ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Tierernährung, 8092 Zürich, Schweiz

Kontakt: M. Boessinger, marcandreas.boessinger@usys.ethz.ch

Einleitung und Ziel der Arbeit

Welche Optimierungsmöglichkeiten gibt es für das schweizerische Futtermittelbewertungssystem (FMBS), wenn es mit den Systemen Deutschlands und Frankreichs verglichen wird? Diese Frage ergründete Samuel Buri, Student der ETHZ, im Rahmen einer Bachelorarbeit.

Es wurden zwei naheliegende Möglichkeiten zur Optimierung der schweizerischen Futtermittelbewertung (FMB) für Wiederkäuer untersucht. (1) Das heutige System wird in seinen Grundzügen beibehalten und fortlaufend aktualisiert und verbessert. (2) Es wird eine FMB aus dem Ausland übernommen. Im Rahmen dieser Arbeit sollte ein Abwägen der Vor- und Nachteile informelle Grundlagen liefern, um die heutige Situation besser darstellen zu können. Dabei werden die FMBS von der Schweiz, von Deutschland und von Frankreich beschrieben, erklärt, veranschaulicht und miteinander verglichen. Um die Brücke zur Praxis zu schlagen, wurde zudem eine Umfrage an zahlreiche Personen gesandt, welche aktuell mit Bewertungssystemen zu tun haben. Die Resultate der Umfrage fließen direkt in die Ergebnisse der Arbeit mit ein und werden anhand einer SWOT-Analyse ausgewertet.

Ausgangslage

Ein wesentlicher Teil der Futtermittelrationierung liegt in der Bestimmung des Futterwertes der verfügbaren Futtermittel (Gruber et al., 2005, INRA, 2018). Für die Bestimmung des Futterwertes gibt es verschiedene FMBS. Während die Bewertung auf Stufe Energie üblicherweise auf dem NEL System basiert, werden auf Stufe Protein verschiedene Systeme verwendet, die sich vom Aufbau als auch von der Art der Bewertung unterscheiden.

In der Schweiz basiert die FMB auf Stufe Energie auf dem NEL-System. Die Proteinbewertung geht auf das Jahr 1987 zurück und stützt sich auf das APD-System aus Frankreich (Agroscope, 2017). Da diese Bewertungssysteme breit angewendet werden, wird auch ihre Gültigkeit und Korrektheit

kontinuierlich geprüft. Bei Agroscope wird zur Zeit diskutiert, das «Grüne Buch» zu aktualisieren, welches als Grundlage für die FMB in der Schweiz dient. In der Diskussion um die Umsetzung werden Möglichkeiten in Betracht gezogen, sich an eine FMB aus dem grenznahen Ausland anzulehnen. Eine Anpassung des FMBS ist stets mit grossem Aufwand verbunden. Sobald neue Parameter verwendet werden, müssen sämtliche Regressionen und auch umfangreiche Datenbanken im Hintergrund angepasst werden. Um eine Anpassung zu rechtfertigen, braucht es eine breite Informationsgrundlage, mit welcher die momentane Situation abgeschätzt werden kann und verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt und diskutiert werden können.

Wichtige Erkenntnisse

Bei der Energiebewertung der Futtermittel stützen sich alle drei FMBS (CH, DE, FR) auf die Nettoenergie Laktation (NEL). Unterschiede zeigen sich in der Berechnung der NEL-Werte. Für die Proteinbewertung wird in der Schweiz das absorbierbare Protein am Darm (APD), sowie die Menge an Protein, die Mikroorganismen anhand der fermentierbaren Energie (PME) respektive des abbaubaren Rohproteins (PMN) aufbauen können, verwendet. In Deutschland werden auf Stufe Protein die komplexen Zusammenhänge der FMB mit zwei Werten, dem nutzbaren Rohprotein am Dünndarm (nXP) und der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB), zusammengefasst. In der französischen FMB werden bei der Proteinbewertung mit den im Darm verdaulichen Proteinen (PDI) die Futtermittel auf eine übersichtliche und zugleich komplexe Art und Weise bewertet. Für die Prozesse im Pansen wird eine ruminale Stickstoffbilanz (BPR) verwendet. Die Proteinbewertungssysteme stellen sich als sehr unterschiedlich heraus. Im Vergleich der Bewertungssysteme werden Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten aufgezeigt.

In der vorliegenden Arbeit werden zusätzlich drei bewertungsunterstützende Parameter untersucht: der Milchwahstoff, das Ammoniak und die Gehalte der Milch an Fett, Eiweiss und Laktose. Heute werden diese Parameter oft in der Rationskontrolle verwendet. Bewertungsunterstützend wäre ihr Einsatz allerdings auch in der FMB möglich.

Erste Ergebnisse

Ergebnisse der Arbeit deuten darauf hin, dass das schweizerische System in Bezug auf die Berechnungsweise und die Akzeptanz den Anwendern gegenüber mit anderen Systemen mithalten kann. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass hinter den Systemen von Deutschland und Frankreich spannende Ansätze für eine Optimierung des schweizerischen FMBS stecken. Das deutsche Bewertungssystem ist einfacher aufgebaut als die beiden anderen Systeme und ist dadurch auch leichter verständlich. Zur Einfachheit der deutschen FMB liegen jedoch viele Schätzungen und

Tabellenwerte zugrunde. Für die Interpretation der französischen FMB werden nur wenige Werte benötigt, diese beinhalten hingegen meist eine fundierte und komplexe Berechnung.

Anhand der Umfrage bei Personen, welche regelmässig mit der Futtermittelbewertung zu tun haben und den Resultaten der Literaturrecherche wurden vor allem in Hinsicht auf die schweizerische Proteinbewertung Punkte aufgedeckt, welche noch Optimierungspotential besitzen.

Optimierungspotenzial

Im Vergleich der verschiedenen Proteinbewertungssystemen wurde ersichtlich, dass in der Schweiz für die Bestimmung des APD-, respektive der APDE- und APDN-Werte zahlreiche Einzelparameter verwendet werden. In Frankreich wird der PDI- Wert auf eine ähnliche aber einfachere Art berechnet, indem gewisse Werte weggelassen werden. Es besteht also die Möglichkeit, das Bewertungssystem in seinen Parametern zu reduzieren ohne die Aussagekraft zu verringern. Diese Variante könnte in Betracht gezogen werden.

Der Milchharnstoffwert scheint eine spannende Grösse in der Futtermittelbewertung zu sein. Durch seine positive Korrelation zu den Ammoniakemissionen und der Möglichkeit, die Ration auf ihren Proteingehalt hin zu bewerten, erhält der Milchharnstoffwert immer grössere Akzeptanz. Sowohl die Resultate der Umfrage als auch die Resultate der Literaturrecherche sehen diesbezüglich vielversprechend aus. In Kombination mit dem Fett-Eiweiss-Quotient (FEQ) könnten weitere bewertungsunterstützende Parameter in die Bewertung einfließen. Dies setzt eine Aktualisierung des heutigen FMBS voraus, da weder Deutschland noch Frankreich ähnliche Parameter besitzen.

Die FMB sollte eine Kombination aus Pansen- und Darmbewertung sein. Dieser Meinung sind 65 % der Personen, die die Umfrage beantwortet haben. Die FMB der Schweiz ist heute bereits eine Kombination, jedoch scheinen viele Anwender nicht zu wissen, dass es hierzu die Werte PME und PMN gibt oder wie diese zu interpretieren sind. Die Interpretation könnte durch eine ruminale Stickstoffbilanz vereinfacht werden. Diese wird bereits in Deutschland und in Frankreich berechnet und könnte in der Schweiz ohne viel Aufwand integriert werden.

Die deutsche FMB scheint in ihrer Einfachheit und Verständlichkeit schwer zu übertreffen sein. Durch häufiger genutzte Schätzungen und Tabellenwerte werden die Futtermittel jedoch weniger differenziert bewertet als durch die Systeme aus der Schweiz oder aus Frankreich. Dieser Unterschied des deutschen Systems im Vergleich zum schweizerischen System lässt eine Übernahme des deutschen Systems als eher unwahrscheinlich erscheinen.

Aus der Umfrage interessieren auch die Aspekte der Abbaubarkeit und der Abbaugeschwindigkeit von Nährstoffen hervor. So sollen in der schweizerischen Energiebewertung die Kohlenhydrate nach Abbaubarkeit und Abbaugeschwindigkeit fraktioniert werden. Effektiv wird die Abbaubarkeit in der Schweiz, Deutschland und Frankreich erfasst, jedoch wird sie in keinem der Systeme in Fraktionen aufgeteilt. Die Abbaugeschwindigkeit bleibt gänzlich unbeachtet. Ähnliches gilt für die Proteinbewertung, wonach Kritik geäußert wurde, dass der Löslichkeit, der Abbaubarkeit und der Abbaugeschwindigkeit im Pansen mehr Rechnung getragen werden sollte. Die Löslichkeit und Abbaubarkeit wird zwar in allen Systemen berücksichtigt. Die Abbaugeschwindigkeit wird hingegen nur in Frankreich durch Gleichungen zur «Dégradabilité théorique» (DT, DT6N) beschrieben. Gemäss Umfrage scheint dieses Thema wichtig zu sein und sollte bei einer Optimierung des heutigen FMBS berücksichtigt werden.

Fazit und Ausblick

Die Hypothese aus der Einleitung, dass in der Schweizer Futtermittelbewertung nach NEL und APD Optimierungspotential besteht, kann durch die Arbeit bestätigt werden. Es wurden Punkte aufgezeigt, die zu einer Optimierung der schweizerischen Futtermittelbewertung beitragen können. Betrachtet man die Strengths-Opportunities-Strategie (SO) der SWOT-Analyse, welche gemäss Weber (2020) den Idealfall darstellt, kann auch der zweite Teil der Hypothese bestätigt werden. Eine Weiterentwicklung des schweizerischen Systems in Richtung des französischen Systems könnte mit dieser Strategie und weiteren Argumenten in der Arbeit, in Einklang gebracht werden.

Literatur

Agroscope (2017): Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer. Seite Das Grüne Buch. Posieux

Gruber, L., Schwarz, J., Erdin, D., Fischer, B., Spiekers, H., Steingass, H., Meyer, U., Chassot, A., Jilg, T., Obermaier, A., Guggenberger, T. (2005). Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen-Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz: 22

INRA (2018): Alimentation des Ruminants. Zehnte Auflage. Editions Quae, Versailles.

Weber, D., M. (2020): Management für Unternehmen der Agrar- und Ernährungswirtschaft I-Teil 3. Vorlesung 1:91.

Optimierung der Aminosäureversorgung bei Tränker für die Grossviehmast

R. Bolt¹ und C. Willi²

¹AgroVet Strickhof, Eschikon 27, 8315 Lindau, Schweiz

²Corsin Willi, Meliofeed AG, Eisenbahnstrasse 16, 3360 Herzogenbuchsee, Schweiz

Kontakt: Roger Bolt, roger.bolt@strickhof.ch und Corsin Willi, corsin.willi@melior.ch

Der Wiederkäuer ist durch seinen Futtereiweissabbau durch die Mikroben im Pansen und die Neusynthese von bakteriellem Protein weitgehend unabhängig von der Zufuhr essentieller Aminosäuren. Durch die Fortschritte im Bereich Zucht, Management und Fütterung die zu erheblichen Leistungssteigerungen führen, kommt aber diese Neusynthese von bakteriellem Protein an seine Leistungsgrenze. Bei Jungtieren ist eine bedarfsdeckende Proteinversorgung resp. Aminosäureversorgung ebenfalls von zentraler Bedeutung. So ist davon nicht nur das Wachstum betroffen, sondern auch die Ausbildung der Organe und Entwicklung der Immunantwort. So zum Beispiel ist L-Arginin in der Produktion von weissen Blutkörperchen zentral und für eine effiziente körpereigene Immunabwehr unabdingbar. Unterstützt wird dieser Prozess der Immunabwehr auch durch das Lysin, das über antivirale Effekte verfügt. Lysin ist als Baustein von Proteinen bei vielen Funktionen im Körper involviert wie der Bildung von Enzymen, Hormonen oder Antikörper. Auch zum Wachstum trägt es wesentlich bei.

Das Einstellen der Tränker für die Munimast ist immer eine besondere Herausforderung bezüglich Krankheiten, Stress und Futterumstellung. Auf der anderen Seite hat auch bei der Wachstumsleistung der Masttiere der Fortschritt nicht Halt gemacht. Im Kontext einer optimierten Aminosäurenversorgung im Jugendstadium wurden am AgroVet-Strickhof, zusammen mit der Futtermittelfirma Meliofeed AG, Herzogenbuchsee die Masttiere mit einer Aminosäurezulage in der Vormast gefüttert, mit dem Ziel nachzuweisen, dass die verbesserte Aminosäurenversorgung der Jungtiere auch zu einer höheren Mastleistung führt.

Das Produkt von Melior 2380 Amino Booster ist ein sojafreies Proteinkonzentrat mit einem hohen Gehalt an essenziellen Aminosäuren wie Lysin, Methionin und Leucin. Die Aminosäuren liegen sowohl in pansenverfügbarer Form wie auch als By-Pass Protein vor.

Das Produkt Amino Booster wurde mit einer Menge von 150g pro Tier und Tag über die TMR, bis zu einem Lebendgewicht von 200kg LG verfüttert. Dabei ist nicht nur die Jugendentwicklung der Tiere von zentraler Bedeutung, sondern auch die Frage, ob ein positiver Effekt auch bis zur Schlachtung ersichtlich ist.

Dazu wurden zwei Gruppen à 8 Tiere mit einem durchschnittlichen Einstallgewicht von 76.5kg LG der Versuchsgruppe Melior und 79.2kg LG der Kontrollgruppe eingestallt.

Fütterung

Die Tiere wurden innert 42 Tagen mit Vollmilch und Milchpulver abgetränkt. Dazu erhielten die Tiere ein Aufzucht mash aus Luzerne Heu und Kraftfutter zur freien Verfügung. Zudem erhielten die Tiere ein Kälberaufzuchtfutter. Nach dem Abtränken erhielten die Tiere eine ad lib Ration aus Heu (4%) Grassilage (21%) Maissilage (72%) und Stroh (3%). Mit 1.6kg Kraftfutter wurde das Eiweiss ergänzt. Der Zusatz Amino Booster wurde während der Abtränkephase über die Milch, später on Top zur Ration mit 150 g verabreicht. Die Versuchsgruppe erhielt 150g zusätzliches Kraftfutter. Nach 92 Tagen wurden die Gruppen umgestallt. Der Zusatz Amino Booster wurde nach dem Umstallen noch weitere 47 Tage gefüttert. Somit wurde nach 139 Tagen Versuchsdauer der Amino Booster abgesetzt.

Resultate und Diskussion

Die Versuchsgruppe brachte beim Umstallen in die Mastbuchten ein durchschnittliches Lebendgewicht von 165.1kg auf die Waage, die Kontrollgruppe lediglich 153.3kg LG. Der durchschnittliche Futtermittelverzehr (Milch, MAT, Grundfutter, KF) lag bei beiden Gruppen mit 2.4kg TS pro Tag gleich auf. Die Versuchsgruppe hatte bis zum Umstallen aber bereits 12kg mehr Lebendgewicht zugelegt. Die Tageszunahmen lagen zu diesem Zeitpunkt bei 967g/Tag bei der Versuchsgruppe und bei 807g/Tag bei der Kontrollgruppe.

Beim Versuchsende, nach 139 Tagen erzielte die Versuchsgruppe einen durchschnittlichen Tageszuwachs von 1084g bei einem Lebendgewicht von 227kg, die Kontrollgruppe kam auf 963g Zuwachs pro Tag bei einem Lebendgewicht von 213kg.

Bemerkenswert ist, dass der Futtermittelverzehr der Versuchsgruppe mit Ø 3.68kg TS pro Tag um 100g höher lag als die Kontrollgruppe. Durch die höhere Tageszunahmen benötigte die Versuchsgruppe mit 3.42kg Futter TS aber 250g weniger Futter TS pro kg Zunahme bis zum Versuchsende.

Die Versuchsgruppe erreichte über die gesamte Mastdauer eine Ø Tageszunahme von 1289g, gut 70g mehr als die Kontrollgruppe. Dabei ist auffällig, dass die Streuung der Versuchsgruppe kleiner ist.

Ob dies nur mit dem Amino-Booster im Zusammenhang steht oder wie hoch hier der Einfluss der Genetik ist, kann nicht abschliessend beurteilt werden.

Diese Daten zeigen lediglich Tendenzen auf, da die Anzahl Tier aufgrund von Abgängen während dem Versuch, zu klein war. Es scheint aber, dass sich die gute Jugendentwicklung mit dem Amino Booster bis zur Schlachtung sichtbar bleibt.

Danksagung

Ein grosser Dank geht an die Firma Meliofeed AG für die Unterstützung dieser Arbeit aber auch dem ganzen Stallteam vom AgroVet-Strickhof für die Tierbetreuung.

Effect of decreasing levels of hemicelluloses in lactating sow's diet on milk composition and offspring development

F. Palumbo^{1,2}, G. Bee¹, P. Trevisi², R. Badertscher³, C. Egger⁴ and M. Girard¹

¹Swine Research Unit, Agroscope, Rte de la Tioleyre 4, 1725 Posieux, Switzerland

²Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna, Viale Fanin 46, 40127, Bologna, Italy

³Ingredients Research Group, Agroscope, 3003 Bern, Switzerland

⁴Biochemistry of Milk and Microorganisms, Agroscope, 3003 Bern, Switzerland

Contact: Francesco Palumbo, francesco.palumbo@agroscope.admin.ch

Introduction

Dietary fibres (DF) consist of plant carbohydrates that resist to digestion by endogenous enzymes and absorption in the small intestine (Jha et al., 2010). The physiological effects of DF seem to be closely related to their different physio-chemical properties, water solubility being one of the most important one (Bach Knudsen and Hansen, 1991). The microbes of the large intestine easily ferment soluble DF, while insoluble DF are slowly fermented (Mudgil et al., 2017). In particular hemicelluloses (HC), which are polysaccharides constituents of plant cell walls (Scheller et al., 2010), are both water soluble and insoluble. Once fermented in the gut, they can increase the number of beneficial bacteria, producing volatile fatty acids (VFA) (Mudgil et al., 2013), which are a source of energy for the animal. Those VFA are absorbed and transferred to milk where they partially serve as an energy source for milk synthesis or are secreted into the milk (Tian et al., 2020). Specific VFA, such as butyrate, play an important role for piglet intestinal health (Feng et al., 2018) and an early-life intervention has been shown to improve the performance of piglets during the post-weaning period (Girard et al., 2021). Therefore, increasing the level of VFA in sow milk by manipulating the maternal diet could be beneficial for piglet development. We hypothesized that altering the levels of HC in lactating sow's diet might affect gut fermentations and ultimately modify the milk gross chemical composition and the VFA profile.

Material and methods

From 110 days (d) of gestation to weaning (26 ± 0.4 d post-farrowing), a total of 40 sows had access to one of four diets differing in the level of HC: T12% (HC: 120 g/kg), T11% (HC: 108 g/kg), T9% (HC: 86 g/kg) and T7% (HC: 72 g/kg). At birth, piglets were divided into 3 groups according to their

birthweight (BtW): High (H-BtW; BtW > 1.70 kg), Medium (M-BtW; 1.2 < BtW ≤ 1.70 kg) or Low (L-BtW; BtW ≤ 1.20 kg). Furthermore, piglet body weight was recorded at 5 and 16 d after birth, at weaning, 7 and 14 d post-weaning. Average daily gain (ADG) was calculated from these data. In addition, milk samples were collected at d 3 and 17 of lactation to determine the VFA profile and the gross chemical composition in milk. The effect of decreasing HC levels in sow's lactation diet on piglet's performance and on milk composition and VFA profile were analysed by ANOVA using the *lme* function of the *nlme* package of R Studio (version 4.0.2 for Windows). Orthogonal polynomial contrasts were implemented to evaluate the linear effect of the HC level between the experimental groups. Results are expressed as least squares means ± SEM. Linear trends were considered significant at $P \leq 0.05$.

Results and discussion

The results of this study showed that decreasing the levels of HC in sow's lactation diet linearly increased butyrate proportion ($P < 0.05$) and total VFA concentration ($P < 0.05$) in milk but decreased lactose content ($P < 0.05$). Furthermore, as HC levels decreased in sow's lactation diet, ADG linearly increased from 7 to 14 d post-weaning ($P < 0.05$) resulting in greater body weight of L-BtW piglets at 14 d post-weaning the ($P < 0.05$). In a previous study, Liu et al. (2020) showed that a greater soluble DF intake during late gestation tended to decrease the number of piglets and the litter weight at weaning. Several studies showed an effect of a high DF intake in gestation on colostrum composition (Feyera et al., 2019; Loisel et al., 2013) but few studies focused on investigating the effect of the type of DF on milk composition and piglet development. Therefore, the present study provides evidence that manipulating DF composition, in particular by modulating HC content, in sow's lactation diet can change milk gross chemical composition and VFA profile in milk and positively affect the performances of L-BtW piglets.

Conclusion

The present findings highlighted the importance of early-life intervention through the manipulation of the maternal diet in order to improve the post-weaning performances of L-BtW piglets. In fact, those piglets represent a great concern for the farmer due to a greater mortality and morbidity rate (López-Vergé et al., 2018) and to a lower slaughter weight at the same age compared to their heavier littermates (Cabrera et al., 2010). Therefore, an intervention on the maternal diet during lactation might be a long-term strategy to reduce variability in body weight in the post-weaning period, and ultimately at slaughter.

References

- Bach Knudsen, K.E. and Hansen, I. (1991): Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions: 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *British Journal of Nutrition* **65**: 217-232
- Cabrera, R., Boyd, R., Jungst, S., et al. (2010): Impact of lactation length and piglet weaning weight on long-term growth and viability of progeny. *Journal of Animal Science* **88**: 2265-2276
- Feng, W., Wu, Y., Chen, G., et al. (2018): Sodium butyrate attenuates diarrhea in weaned piglets and promotes tight junction protein expression in colon in a GPR109A-dependent manner. *Cellular Physiology and Biochemistry* **47**: 1617-1629
- Feyera, T., Zhou, P., Nuntapaitoon, M. et al. (2019): Mammary metabolism and colostrogenesis in sows during late gestation and the colostrum period. *Journal of animal science* **97**: 231-245
- Girard, M., Tretola, M. and Bee, G. (2021): A single dose of synbiotics and vitamins at birth affects piglet microbiota before weaning and modifies post-weaning performance. *Animals* **11**: 84
- Jha, R., Rosnagel, B., Pieper, R., Van Kessel, A. and Leterme, P. (2010): Barley and oat cultivars with diverse carbohydrate composition alter ileal and total tract nutrient digestibility and fermentation metabolites in weaned piglets. *Animal* **4**: 724-731
- Liu, Y., Chen, N., Li, D. et al. (2020): Effects of dietary soluble or insoluble fiber intake in late gestation on litter performance, milk composition, immune function, and redox status of sows around parturition. *Journal of Animal Science* **98**: 1-7
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P. et al. (2013): Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production, and piglet performance. *Journal of animal science* **91**: 5269-5279
- López-Vergé, S., Gasa, J., Farré, M., et al. (2018): Potential risk factors related to pig body weight variability from birth to slaughter in commercial conditions. *Translational Animal Science* **2**: 383-395
- Mudgil, D. and Barak, S. (2013): Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: a review. *International journal of biological macromolecules* **61**: 1-6
- Mudgil, D. (2017): The interaction between insoluble and soluble fiber. In: *Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease*. Elsevier: pp. 35-59
- Scheller, H.V. and Ulvskov, P. (2010): Hemicelluloses. *Annual review of plant biology* **61**: 263-289
- Tian, M., Chen, J., Liu J., et al. (2020): Dietary fiber and microbiota interaction regulates sow metabolism and reproductive performance. *Animal Nutrition* **7**: 111-118.

Amino acid composition of the uterine fluid and blood plasma on days 10, 12 and 14 post-insemination in the pig

M. Schmidhauser¹, V. van der Weijden¹, V. Floeter² and S.E. Ulbrich¹

¹ETH Zurich, Animal Physiology, Institute of Agricultural Sciences, Switzerland

²Physiology Weihenstephan, Technical University of Munich, Germany

Following hatching, the rapidly developing embryo depends on the composition of the uterine fluid during the peri-implantation phase. After maternal recognition of pregnancy which is thought to occur around days 11 to 12 post insemination, the embryo elongates at day 14 (Ziecik et al., 2011). During this perimplantation phase, the embryo exerts a high demand on nutrients. Amino acids (AA) contained in the uterine fluid have multiple biological functions, as they are components of enzymes and cytokines and constitute hormone precursors (Wu, 2009). Dynamic changes in the uterine fluid AA composition might affect embryonic growth by regulating the embryonic mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) activity. The mTORC1 acts as link between the environmental availability of nutrients such as AA in the uterine fluid and embryonic metabolism (Dibble & Manning, 2013). We analyzed the AA composition of the uterine fluid and blood plasma in early gestating gilts at days 10, 12 and 14 post-insemination. A bicinchoninic acid test was applied to determine the total protein in the uterine fluid and a liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS/MS) approach was employed that allows the quantification of 35 distinct AA. Overall, 28 AA were uniquely identified in both uterine fluid and plasma. While the uterine fluid total protein quantification significantly increased between days 10 and 14 post-insemination in the uterine fluid, the total amount of AA remained stable. A principal component analysis showed that the AA in the uterine fluid, but not in the blood plasma, clearly clustered by sampling day. Therefore, the observed dynamic changes in uterine fluid AA were probably due to a local rather than a systemic regulation and did not constitute of mere plasma transudate. Of all AA identified, serine and glycine were most abundant in the uterine fluid. Their concentration was significantly higher at day 10 compared to days 12 and 14. Serine and glycine belong to the mTORC1 priming AA (Dyachok, Earnest, Iturraran, Cobb, & Ross, 2016). Overall, the concentrations of all the mTORC1 priming AA were highest on day 10, while mTORC1 activating AA concentrations increased between day 10 and 14. We hypothesize that the shift from priming to activating AA in the uterine fluid support appropriate activation of embryonic mTORC1. In summary, the results indicate that the uterine fluid AA

composition changes significantly during embryonic preimplantation development and thereby may contribute to supporting embryonic growth via mTORC1 signaling.

Literatur

Dibble, C.C., & Manning, B.D. (2013): Signal integration by mTORC1 coordinates nutrient input with biosynthetic output. *Nat Cell Biol*, **15**(6): 555-564. doi:10.1038/ncb2763

Dyachok, J., Earnest, S., Iturraran, E.N., Cobb, M.H., & Ross, E.M. (2016): Amino Acids Regulate mTORC1 by an Obligate Two-step Mechanism. *J. Biol. Chem.*, **291**(43): 22414-22426. doi:10.1074/jbc.M116.732511

Wu, G. (2009): Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, **37**(1): 1-17. doi:10.1007/s00726-009-0269-0

Ziecik, A.J., Waclawik, A., Kaczmarek, M.M., Blitek, A., Jalali, B.M., & Andronowska, A. (2011): Mechanisms for the establishment of pregnancy in the pig. *Reprod Domest Anim*, **46**: Suppl 3, 31-41. doi:10.1111/j.1439-0531.2011.01843.x.

Genetic potential for improving protein efficiency in pigs

E. Ewaoluwabemiga^{1,3}, H. Pausch³, G. Bee² and C. Kasper¹

¹Animal GenoPhenomics Group, Agroscope Posieux 1725, Switzerland

²Swine Research Unit, Agroscope Posieux 1725, Switzerland

³Animal Genomics, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

Contact: Esther Ewaoluwabemiga, esther.ewaoluwabemiga@agroscope.admin.ch

Introduction

The improvement of protein efficiency (PE) is an essential factor in the development of a sustainable pig production, especially considering its contribution to environmental pollution through nitrogen excretion. In addition, since many countries do not meet the soybean demand of the livestock industry, soybeans are imported from South America, thereby leading to an increased cost of production. It is therefore important to improve proportion of protein retained in the body of pigs. Traits such as feed conversion ratio (FCR) and residual feed intake (RFI) are used to characterize feed efficiency in livestock. However, improving feed efficiency with the aim of reducing nutrient excretion may not be as efficient as selecting on the nutrient trait itself (de Verdal et al., 2011). The aim of this study was therefore to understand the genetic architecture of PE in Swiss Large White pigs by estimating its heritability and its genetic correlations with meat quality traits (such as meat colour, shear force, cooking loss) and production traits (such as average daily gain).

Materials and Methods

A total of 541 pigs from a still ongoing experiment were used to estimate the heritability of protein efficiency and 276 pigs were used to estimate its genetic correlations with meat quality and production traits. Pigs were fed a reduced-protein diet (80% of recommendations) from 20 kg – 100 kg live weight on a grower – finisher diet. Pigs were slaughtered at 100 kg live weight and carcass lean mass was measured with a Dual-Energy X-Ray Absorptiometry scanner. Protein content of carcass was estimated from lean mass using the regression equation by Kasper et al. (2020a). The PE was calculated as the ratio of protein in the carcass to total dietary protein consumed. The production traits taken were average daily gain (ADG), feed conversion ratio (FCR), and average daily feed intake (ADFI). Meat quality traits such as meat colour (lightness (L*), redness (a*) and yellowness (b*)), shear force, water holding capacity, as well as back-fat thickness were recorded (Table 1). The

genetic and common environmental variance components of PE were estimated using a univariate animal model (corrected for the effects of sex, slaughter weight, slaughter age, and farrowing series) and genetic correlations were estimated using bivariate models. Both univariate and bivariate models were performed with a Markov Chain Monte Carlo algorithm.

Results

The heritability of carcass PE was 0.40 [0.24, 0.59] (Figure 1). This heritability estimate was higher than that obtained by Kasper et al. (2020b) for carcass. Common environment (litter effect) also contributed to the phenotypic variation with a variance of 0.21 [0.15, 0.34], showing that pigs in the same litter performed similarly compared to others in different litters. We found significant genetic correlations between PE and production traits, while none of the meat quality traits showed significant genetic correlations with PE, except for meat redness (Table 1).

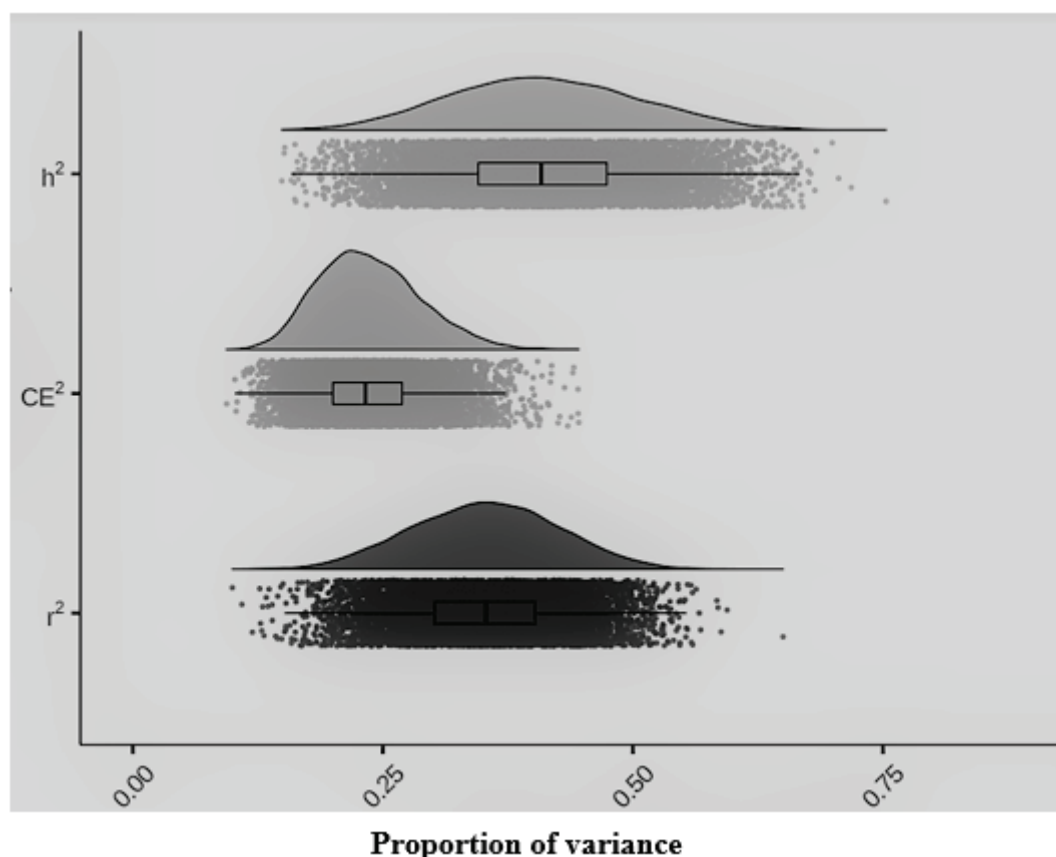


Figure 1: Heritability (h^2), common environment effect (CE^2) and residual variance (r^2) of protein efficiency of the carcass. Posterior distributions of the respective variance components (upper part), points representing single estimates are shown together with a box plot (with median, the whiskers represent the 95% credible interval).

Table 1: Genetic correlations of protein efficiency with production and meat quality traits, and their 95% credible intervals.

Trait	$r_g \pm 95\%$ credible interval
Average daily feed intake (ADFI)	-0.93 [-0.95, -0.91]
Feed conversion ratio (FCR)	-0.91 [-0.94, -0.86]
Average daily gain (ADG)	-0.58 [-0.67, -0.49]
Back-fat thickness	-0.30 [-0.53, 0.17]
Intramuscular fat	-0.14 [-0.39, 0.20]
Loin muscle area	0.06 [-0.44, 0.60]
Meat lightness (L*)	-0.39 [-0.94, 0.60]
Meat redness (a*)	-0.48 [-0.73, -0.12]
Meat yellowness (b*)	-0.34 [-0.58, 0.03]
Drip loss	0.04 [-0.22, 0.25]
Cooking loss	0.05 [-0.34, 0.56]
Shear force	0.01 [-0.33, 0.35]

Conclusion

The heritability of PE clearly indicates the potential for selective breeding of PE in Swiss Large White pigs. The implication of this is that the contribution of pigs to environmental pollution could be reduced and the cost of pig production could be lowered. Favourable relationships exist between PE and ADFI and FCR, which means protein efficient pigs are expected to consume less feed and efficiently convert the feed to lean mass. The quality of meat is not expected to be influenced by an improvement in the PE of Swiss Large White pigs, except for meat redness. Subsequently, we will identify SNPs associated with PE, as this will help to understand genes that underlie this trait, and thus accelerate genetic improvement of protein efficiency.

References

- de Verdal, H., Narcy, A., Bastianelli, D., Chapuis, H., Mème, N., Urvoix, S., Le Bihan-Duval, E. and Mignon-Grasteau, S. (2011): Improving the efficiency of feed utilization in poultry by selection. 2. Genetic parameters of excretion traits and correlations with anatomy of the gastro-intestinal tract and digestive efficiency. *BMC Genetics*, **12**(1): 71
- Kasper, C., Ruiz-Ascacibar, I., Stoll, P. and Bee, G. (2020a): Investigating the potential for genetic improvement of nitrogen and phosphorus efficiency in a Swiss large white pig population using chemical analysis. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, **137**(6): 545-558
- Kasper, C., Schlegel, P., Ruiz-Ascacibar, I., Stoll, P. and Bee, G. (2020b): Accuracy of predicting chemical body composition of growing pigs using dual-energy X-ray absorptiometry. bioRxiv 2020.09.15.286153; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.15.286153>.

Successful dietary support of a dog diagnosed with Lafora disease - a case report

K. Gerstner and A. Liesegang

Institute of Animal Nutrition, Vetsuisse-Faculty University of Zürich, Switzerland

Contact: Annette Liesegang, aliese@nutrivet.uzh.ch

Introduction

Feeding dogs with multiple diseases can be tough, especially if these diseases are rare and their nutritional key factors are contradictory. Lafora disease (LD) is an autosomal recessive progressive myocloepilepsy caused by mutations in the gene encoding the glycogen phosphatase laforin. In dogs, LD is one of the most common recognized structural-metabolic epilepsies. It is most frequent in Miniature Wirehaired Dachshunds, Bassett Hounds and Beagles (Swain et al., 2017). A single case each has been reported in Poodle, Belgian Shepherd and Corgi (Márquez et al., 2008; Kehl 2019). The underlying pathology in LD is transformation of spherical and soluble glycogen to a more linear and insoluble glucan called polyglucosan. Gradual precipitation, aggregation, and accumulation of polyglucosans results in massive neurotoxic inclusion bodies, which drive the neurodegenerative epilepsy (Swain et al., 2017). In humans, it has been expected that a ketogenic dietary regimen (promoting the use of ketone bodies instead of glucose) will be capable of reducing glycogen synthesis, thereby decreasing inclusion body accumulation, and slowing down the disease progression. However, a ketogenic diet was unable to stop the disease progression in humans (Cardinali et al., 2006). In dogs, despite early promising results, longer term observations suggest that feeding a low carbohydrate and/or high antioxidant diet does not delay onset of the disease (Swain et al., 2017). However, diet might help to mitigate the symptoms of epilepsy, as a study showed antiseizure properties of dietary supplementation of medium-chain triglyceride and supported former evidence for the efficacy of medium-chain triglycerides as a nutritive management option for drug-resistant dogs with epilepsy (Berk et al., 2020).

This report shows a successful dietary support of a dog diagnosed with LD, mitral valve regurgitations and elevated blood bile acids.

Case Report

In this case a 10-year-old, spayed Chihuahua with a current body weight of 2.7 kg (ideal weight; BCS 5/9) was presented. Five years ago, she began suffering from epileptic seizures with roughly one seizure per year. An MRI of the brain showed a hydrocephalus, as well as small multifocal intraxial lesion in the right pons and brain stem. With treatment, the seizures were under control. However, half a year ago, the frequency of the seizures increased to one seizure per month. The dog was diagnosed with LD (genetically homozygous) and was, in addition to medical treatment, referred to the nutrition consultation service of the Institute of Animal Nutrition of the University of Zurich (IAN).

Diet

The current diet at time point of referral to the IAN was a commercial dry diet formulated to support patients with hepatic diseases. The carbohydrate content (NFE 57% DM) of this diet markedly exceeded the aimed content of the recommendation for LD. The dog's owner was willing to feed a homemade diet which was considered the best option to modify the diet individually to the requirements of the dog. As epileptic seizures and LD were the most severe problems to be addressed, the main focus of the dietary recommendation was laid on providing an adequate amount of medium chained fatty acids (MCT) and reducing of carbohydrates (Law et al. 2015). As the energy requirement of the dog was low compared to other dogs, decreasing the amount of carbohydrates and limiting the protein content to the recommendations to support the liver was possible without markedly increasing the fat content of the diet. The homemade diet contained beef and cottage cheese as high quality protein sources, carrots and fennel as fiber sources, quinoa as carbohydrate source with a low glycemic index, hempseed oil as source for essential fatty acids and the antioxidant vitamin E, MCT oil, cellulose, a mineral vitamin supplement and salmon oil as source of the long chained omega 3 fatty acids EPA and DHA. It was recommended to feed the diet entirely cooked, well mixed and regularly as recommended.

The comparison of the previously fed diet and the recommended diet and to the key nutritional factors are listed in Table 1. The key nutritional factors of diets for epileptic seizures are not defined yet.

Discussion & Outcome

The owner reported a stabilization of the symptoms and the overall wellbeing of the dog. The dog still suffers from myoclonic seizures and ataxia, however, the frequency of the seizures is reduced. The diet is fed strictly as recommended. An improvement of the symptoms of the patient due to medication and dietary management is considered as a successful approach. It is known from human

and veterinary medicine, that, with the current available therapy, the progression of LD cannot be stopped (Cardinali et al., 2006; Swain et al., 2017). However, this case shows, that additionally to an adequate medication, dietary measures may support canine patients with LD and improve wellbeing and symptoms and therefore an improved quality of life.

Conclusion

Besides medication, dietary measures successfully supported this patient with LD. As LD is a rare disease, more patients receiving a similar diet are required to define key nutritional factors to support dogs suffering LD.

Table 1: Key nutritional factors of previous diet and recommended diet compared to key nutritional factors for cardiovascular disease and hepatobiliary disease. All values are expressed on a dry matter basis (DMB).

	Previous diet	Recommended diet	Cardiovascular disease ¹	Hepatobiliary disease ¹
Energy density [kJ/g]				> 16.7
Protein [%]	17.6	30.6		15 – 20
Phosphorus [%]	0.56	0.63	0.2 – 0.7	
Magnesium [%]	0.08	0.13	> 0.06	
Potassium [%]	0.97	0.83	> 0.4	
Sodium [%]	0.21	0.13	0.08 – 0.15	0.08 – 0.25
Chloride			1.5 x sodium levels	
Iron [mg/kg]	180	127		80 - 140
Copper [mg/kg]	6	20		< 5*
Zinc [mg/kg]	261	135		> 200*
Vitamin E [mg/kg]	647	245		> 400
Vitamin C [mg/kg]				> 100
Taurine [%]			> 0.1	> 0.1
L-Carnitine [%]			> 0.02	

¹Hand et al., 2010, Small animal clinical nutrition

* relevant in case of copper storage disease

References:

Berk, B.A., Law, T.H., Packer, R.M., Wessmann, A., Bathen - Nöthen, A., Jokinen, T.S., ... & Volk, H.A. (2020): A multicenter randomized controlled trial of medium - chain triglyceride dietary supplementation on epilepsy in dogs. *Journal of veterinary internal medicine*, **34**(3), 1248-1259

Cardinali, S., Canafoglia, L., Bertoli, S., Franceschetti, S., Lanzi, G., Tagliabue, A., et al. (2006): A pilot study of a ketogenic diet in patients with Lafora body disease. *Epilepsy research*, **69**(2):129±34

Hand, Michael, S., editor.; Thatcher, Craig, D., editor.; Remillard, Rebecca, L., editor.; Roudebush, Philip, editor.; Novtony, Bruce J., editor.; Lewis, Lon D. (2010): Small animal clinical nutrition Topeka, Kan.: Mark Morris Institute; 2010; 5th edition.

Kehl, A., Cizinauskas, S., Langbein-Detsch, I., Mueller (2019): INHLRC1 dodecamer expansion in a Welsh Corgi (Pembroke) with Lafora disease. *Animal Genetics*, **50**:4 413-414

Law, T.H., Davies, E.S.S., Pan, Y., Zanghi, B., Want, E., Volk, H.A. (2015): A randomised trial of a medium-chain TAG diet as treatment for dogs with idiopathic epilepsy. *British Journal of Nutrition*, **114**: 1438-1447

Márquez, M., Pérez, L., Serafin, A., Teijeira, S., Navarro, C., Pumarola, M. (2008): Characterisation of Lafora-like bodies and other polyglucosan bodies in two aged dogs with neurological disease. *The Veterinary Journal*, **183**: (2010) 222-225

Swain, L., Key, G., Tauro, A., Ahonen, S., Wang, P., Ackerley, C., et al. (2017): Lafora disease in miniature Wirehaired Dachshunds. *PLoS ONE*, **12**(8): e0182024.

Nutritional approach to a multimorbid cat with urolithiasis and food intolerance

H. Opsomer, K. Gerstner and A. Liesegang

Institute of Animal Nutrition, Vetsuisse Faculty, University of Zurich, Switzerland

Contact: Han Opsomer, ernaehrungsberatung@nutrivet.uzh.ch

Introduction

Although the occurrence of struvite (magnesium ammonium phosphate hexahydrate) urolithiasis in cats decreased over the last decades (in contrast to calcium oxalate urolithiasis), it is still highly prevalent in the current domestic cat population. Breed, age, overweight, infection and nutritional factors have all been linked to its development. Central in the pathogenesis is the oversaturation of urine with magnesium (Mg), phosphorus (P) and ammonium (NH_4^+) which occurs more easily during alkaluria (urin pH > 6.9). In contrast to dogs, struvite urolithiasis in cats predominantly develops in a sterile environment (without bacterial infection). The cat's marked ability to concentrate its urine is a major contributor to this. Treatment and prevention consequently focus on the avoidance of urine oversaturation, optimizing urinary pH and preventing excessive body weight. Nutritional support can prevent urine oversaturation and alkalic urine pH by: i) increasing fluid intake (e.g. wet food, appropriate water provision), ii) avoiding excessive Mg, P and protein intake, iii) optimizing dietary cation anion balance (DCAB) and iv) feeding multiple small meals per day (avoids alkalic peaks in the urine). Caution is warranted to prevent excessive / too long lasting acidification of the urine as this predisposes for other types of urolithiasis as well as rendering significant stress on different organ systems (metabolic acidosis). Tailored exercise and energy intake should improve body condition (Bartges & Kirk 2012, Queau 2019, Iben et al. 2021). Adverse food reactions (AFR) are common in cats as well, with symptoms more often being of a dermatological (e.g. pruritus) rather than a gastrointestinal (vomitus, diarrhoea) nature. Although protein forms the bulk of the dietary triggers, other food components can play a role too. Standard procedure to diagnose AFR is an exclusion diet, consisting of one protein and if necessary one carbohydrate source (novelty based on detailed nutritional history). This diet can be stepwise balanced to ensure toleration of all ingredients. For distinction between food intolerance (FI) and food allergy (FA) (both AFR), provocation tests are necessary (feeding single ingredients to see if/ which are triggers). The often-difficult nature of cats regarding food adaptation (e.g. ingredients, texture) as well as a possible inability of the owner to conduct this extensive procedure can necessitate the selection of an appropriate commercial product

(novel protein and/or hydrolysed). Although both conditions warrant the use of highly digestible foods/feedstuffs (urolithiasis: reduced quantity of protein to cover essential amino acid requirements, AFR: possibly reduced digestive capacity), both limit options, often warranting a fitting compromise to be struck (Verlinden et al. 2006, Iben et al. 2021).

Clinical history

The referred castrated Persian-mix tomcat (10 ½ years old at time of presentation) weighing 7.8 kg (estimated ideal weight 6.5 kg) underwent surgery for sterile struvite urolithiasis 2 months prior to referral. It was referred to the Institute of Animal Nutrition of the Vetsuisse Faculty, University of Zürich after it refused the prescribed diet and was solely consuming (for one month) a raw meat diet with methionine and taurine supplementation. In addition, the patient developed pruritus the week prior to referral which was successfully treated with a short course of prednisolone. Despite its inappetence, the patient retained a body condition score of 7/9 (obese). No muscle loss was ever noted. Postsurgical urinalysis indicated haematuria, struvite crystal build-up and a urine specific gravity of 1.040 (target < 1.040) warranting nutritional adaptation. Urine pH prior to referral was not recorded. Postsurgical clinical and blood examinations did not show any marked alterations. The patient had no outdoor access and was not known to steal food items in the house.

Nutritional approach

Selected nutrients of the patient's subsequent diets are specified in Table 1. Diet A (diet fed prior to referral) is described above. Diet B (initial diet prescribed by the Institute of Animal Nutrition) consisted of a highly digestible, wet diet, supplemented with cooked chicken, potassium citrate and a zinc supplement. Diet B balanced out nutritional deficiencies in diet A, increased DCAB and decreased fat and energy content to facilitate weight loss. Due to worsening pruritus (3 weeks after therapy initiation), an initial mono-protein wet food (horse meat) was supplemented with cooked horse meat (novelty based on history) and stepwise balanced (2 week intervals) after 6 weeks with potassium citrate, calcium carbonate, salmon oil and an iodine supplement (Diet C). Diet C compared to Diet B slightly reduced energy content further to optimize weight loss, increased DCAB, introduced protein novelty and increased eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) content (long chain omega 3 fatty acids) of the diet for its anti-inflammatory effect (Cave 2012). It was advised to feed the daily diet well mixed, as multiple small meals (at least 3) per day. Nothing but the ingredients listed for each specific time point should be fed. This especially to not interfere with the procedure for AFR (Verlinden et al. 2006). Diet B and C covered the recommendations for a healthy cat with an ideal body weight of 6.5 kg, as specified by the National

Research Council (NRC 2006). All prescribed diets were highly digestible and avoided massive excess of the critical components (see above) (Queau 2019, Iben et al. 2021). Diet C introduced protein novelty, stepwise balancing and focus on attenuating inflammation as indicated for AFR (Verlinden et al. 2006, Cave 2012, Iben et al. 2021).

Table 1: Selected nutrients of subsequent diets. Values calculated with Diet Check Munich ©2005 Version 3.0 (RV Software; based on NRC 2006, modified by Dobenecker and Kienzle). Energy = metabolizable energy; Rec. = recommendations for a healthy adult cat with ideal weight of 6.5 kg

Diet (Unit)	Energy (MJ)	Rp (g)	Met (g)	Cys (g)	Ca (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Na (mg)	Cl (mg)	Urine pH
Rec.	/	25	0.15	0.12	252	224	35	59	84	/
A	1.1	29	1.10	0.36	15	224	35	98	128	5.8
B	0.9	26	1.70	0.27	365	287	47	291	496	6.6
C	0.8	23	1.06	0.12	465	339	35	174	275	6.9

Contrary to intuition, both dietary adaptations (B and C) increased DCAB, therefore alkalisating urine pH (Table 1; instructions how to estimate urine pH from DCAB, see Iben et al. (2021)). Although acidic urine solves struvite crystals (pH < 6.5), excessive/ long term acidification predisposes for calcium oxalate formation. At the time of the second adaptation, struvite was no longer found, warranting a slight increase of urine pH (6.5-6.9) (Iben et al. 2021). Energy content was adapted twice as body weight stagnated after the first adaptation. Although the formulation of a homemade diet would facilitate adaptation of mineral content and DCAB, as well as enabling the best possible procedure for an exclusion diet, financial limitations of the owner excluded this approach.

Follow-up and discussion

3 weeks after the nutritional consultation, the patient was severely pruritic and had lost weight too rapidly (1 kg body weight) due to its adversity towards the new product. Urinalysis did show successful treatment of struvite urolithiasis (no crystals). Pruritus and non-acceptance of the food still warranted the selection of a new product. As a homemade diet was refused by the owner, a mono-protein product was chosen (protein addition through meat was necessary to cover the patient's requirement, rendering a hydrolysed food redundant). It should however be mentioned that the new product was less suited for treatment of struvite urolithiasis (high P content). Although the P level exceeded the recommendation with 50%, Mg and protein content were perfectly adjusted. Since crystals were no longer present, this was deemed acceptable. Potassium citrate and calcium carbonate in marked excess of the patient's potassium and Ca requirements were added to optimally adjust urine

pH to an only slightly acidic level. Adjusting urine pH > 6.5 is of special note as the increased Ca content of the diet might otherwise predispose to calcium oxalate urolithiasis (Bartges & Kirk 2012, Queau 2019, Iben et al. 2021). The inclusion of salmon oil in diet C would seem contraindicated due to the patient's rapid weight loss (risk for hepatic lipidosis) and the necessity for it to further lose weight (fat is more energetic than protein or carbohydrate). However, (not shown in Table 1), the overall fat content was continuously reduced (diet A > B > C). In addition, salmon oil was added for its high EPA and DHA content to mitigate pruritus and to improve diet palatability. Inclusion of a dietary fibre source normally improves satiety during weight reduction. This was however not initiated due to fibre in the commercial product, to avoid additional antigens and as non-acceptance rather than begging appeared to be the issue (indicating willingness to eat) (Iben et al. 2021). Diet C was accepted much better than diet B and after stepwise balancing, the patient retained its ideal weight (6.5 kg) and showed no dermatological, gastrointestinal or urogenital symptoms. Although this strongly indicates AFR, the two could not be differentiated due to a lack of provocation tests (Verlinden et al. 2006). Urinalysis also showed a urine specific weight of 1.015 indicating sufficient water intake by the patient (Bartges & Kirk 2012, Iben et al. 2021).

Conclusion

Nutritional support forms the cornerstone for successful treatment of both struvite urolithiasis as well as AFR. When the use of a homemade diet is refused, appropriate food selection should be evaluated on an individual basis. In this case, a novel mono-protein wet food which on its own would be unsuited for treatment of struvite urolithiasis, was successful in combination with the right supplements in treating both urolithiasis and AFR.

References

- Bartges, J., Kirk, C. (2012): Nutritional management of lower urinary tract disease. In: Fascetti, A.J., Delaney, S.J. *Applied Veterinary Clinical Nutrition*, 269-288. Wiley-Blackwell
- Cave, N. (2012): Nutritional management of gastrointestinal diseases. In: Fascetti, A.J., Delaney, S.J. *Applied Veterinary Clinical Nutrition*, 175-219
- Iben, C., Liesegang, A., Wichert, B., Wolf, P. (2021): Ernährungsbedingte Störungen und Diätik. In: Iben, C., Liesegang, A., Wichert, B., Wolf, P. *Ernährung der Katze*, 135-194. Thieme
- Queau, Y. (2019): Nutritional Management of Urolithiasis. *Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice*, **49**: 175-186
- Verlinden, A., Hesta, M., Millet, S., Janssens, G.P.J. (2006): Food allergy in dogs and cats: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **46**: 259-273.

Evaluation of the nutritional content of the ration and bone density measurement in early bred gilts suffering from lameness in a pig farm in Switzerland. A case report.

A. Giordanella, B. Wichert and A. Liesegang

Institute of Animal Nutrition, Vetsuisse Faculty, University of Zurich, Switzerland

Contact: Annette Liesegang, aliese@nutrivet.uzh.ch

Introduction

The proper management of gilts has a large impact on overall productivity and profitability in pig farming (Malanda et al., 2019). In particular, during the selection period and following the pubertal maturity of the gilts, an adequate dietary supply with energy and minerals is essential for a correct completion of growth and in order to avoid skeletal disorders related to the metabolic changes in the reproductive phase (Peo, 1991). In this case report a severe lameness problem in recently purchased gilts in a 100-sow farrow-to-finish farm in central Switzerland was investigated.

Clinical history

70 gilts (crossbreed Swiss Large White x Swiss Landrace) were first mated between 182 and 202 days in a breeding farm and transferred to the farrow-to-finish farm at around 70 days of gestation. In the farrow-to-finish farm most of the gilts showed limb pain, abnormal gait and/or inability to rise after the first farrowing, whereas no improvement in symptoms was observed with medical treatments. According to the clinical evaluation of the referring veterinarian, a too early mating and/or an improper dietary management of the gilts might be related to the onset of the lameness. To investigate more in-depth the type and cause of lameness, two gilts (GILT 1, GILT 2) were sacrificed and subjected to further examinations. Both gilts were 1 year old and weighed ca. 180 kg. No information was provided regarding the body condition score (BCS) of the gilts. Abnormal appearance of the joint surfaces, particularly in the knee joints, were found on pathological examination in both GILT 1 and GILT 2, which led to the suspected diagnosis of osteochondrosis dissecans (OCD). The nutritional evaluation of the daily ration and the bone density measurement were requested from the Institute of Animal Nutrition, University of Zurich.

Dietary calculation and bone mineral density measurement

Information on the feeding plan in the breeding farm was not available. The dietary calculation was performed according to the feeding plan in the farrow-to-finish farm. The diet consisted of two different concentrates (Feed 1 and Feed 2). The label states Feed 1 for gestating sows and Feed 2 for lactating as well as dry sows. Nutritional analyses were available for each feed as reported in Table 1. The dietary supply with crude protein, calcium, digestible phosphorus, Ca:P ratio and vitamin D3 was calculated and compared to the Swiss nutrient requirements for gestating sows and lactating sows, respectively (Agroscope, 2016) as reported in Table 2. The energy supply with the diet was also calculated according to the feeding guide for the different phases of gestation and lactation on the label of Feed 1 and Feed 2, respectively and compared to the recommendations per animal per day (Agroscope, 2016) as reported in Table 3 and Table 4.

Table 1. Nutrients relevant to the case study. Analytical values according to the feed labels of Feed 1 for gestating sows and Feed 2 for lactating /dry sows. DE: digestible energy, CP: Crude protein, Ca: calcium, tP: total phosphorus

		Feed 1 [Gestating sows]	Feed 2 [Lactating / dry sows]
DE	MJ/kg	12.6	14.2
CP	%	12.5	16.0
Ca	g/kg	6.4	8.5
tP	g/kg	4.2	5.2
Ca:P		1.52	1.63
6-Phytase (5000 FTU/g)	mg/kg	180	180
Vitamin D3	IU/kg	1800	1800

Table 2. Comparison of the daily ration with the Swiss nutrient requirements for crude protein, calcium, digestible phosphorus, Ca:P ratio and vitamin D3 (Agroscope, 2016). SNR: Swiss nutrient requirement, DNS: dietary nutrient supply, DE: digestible energy, CP: Crude protein, Ca: calcium, Digestible P: digestible phosphorus

	CP [g/MJ DE]		Ca [g/MJ DE]		Digestible P [g/MJ DE]		Ca:P		Vitamin D3 [IU/kg feed]	
	SNR ¹	DNS	SNR ¹	DNS	SNR ¹	DNS ^a	SNR ¹	DNS	SNR ¹	DNS
Feed 1 [Gestating sows]	10	9.9	0.66	0.52	0.20	0.23	1.65	1.52	800	1800
Feed 2 [Lactating/ dry sows]	12	11.2	0.66	0.59	0.20	0.25	1.65	1.63	800	1800

^a Calculated with a total phosphorus digestibility of 70%, assuming an optimal phytase activity (according to the enzyme feed manufacturer min.100 FTU / kg concentrate is recommended for sows)

¹Agroscope, 2016, Fütterungsempfehlungen für Schweine

Table 3. Gestating sows: comparison of the daily ration with the recommended energy supply with an assumed litter size of 12 piglets (Agroscope, 2016). SNR: Swiss nutrient requirement, DNS: dietary nutrient supply, MJ DE/a/d: mega Joule digestible energy per animal per day

	Initial body weight [kg]	Early/Medium gestation day 1 - 84 = 0 -12 weeks		Late Gestation day 85 - 114 = from week 13	
		SNR ¹ [MJ DE/a/day]	DNS [MJ DE/a/day]	SNR ¹ [MJ DE/a/day]	DNS [MJ DE/a/day]
Gilt	120	25.6	30.2	33.5	40.3
	130	26.5	30.2	34.4	40.3
	150	28.5	30.2	36.3	40.3
Sow	140	30.5	30.2	39.0	40.3
	180	32.2	30.2	40.2	40.3
	220	34.5	30.2	42.1	40.3
	260	35.3	30.2	42.2	40.3

¹Agroscope, 2016, Fütterungsempfehlungen für Schweine

Table 4. Lactating sows: comparison of the daily ration with the recommended energy supply with an assumed litter size of 9 piglets (Agroscope, 2016). SNR: Swiss nutrient requirement, DNS: dietary nutrient supply, MJ DE/a/d: megajoule digestible energy per animal per day

Body weight after farrowing [kg]	SNR ¹ [MJ DE/a/day]	Lactation weeks DNS [MJ DE/a/day]			
		1.	2.	3./4.	5.
		150	71	70	85
180	74	70	85	89	85
210	77	70	85	89	85
240	80	70	85	89	85

¹Agroscope, 2016, Fütterungsempfehlungen für Schweine

The bone mineral density (BMD in mg/cm³) was measured using the technology of peripheral quantitative computed tomography (pQCT, Stratec XCT 960, Stratec Medizintechnik GmbH, Pforzheim, Germany). Measurements were performed on metatarsus of both GILT 1 and GILT 2. Bones were scanned in two different sections: Distal section (epiphysis) and central section (diaphysis). The total bone mineral density was determined in both sections. In addition, cortical bone mineral density was determined in the diaphysis while trabecular bone mineral density was determined in the epiphysis. The results of the bone mineral density measurements of metatarsus of both GILT 1 and GILT 2 are reported in Table 5 and Table 6 respectively.

Table 5. Bone mineral density measurements GILT 1

Metatarsus			
		BMD mg/cm ³	Reference values ¹ mg/cm ³
Diaphysis	Total	652	≥ 806
	Cortical	976	≥ 1182
Epiphysis	Total	522	≥ 496
	Trabecular	301	≥ 295

¹ Loch, 2004**Table 6.** Bone mineral density measurements GILT 2

Metatarsus			
		BMD mg/cm ³	Reference values ¹ mg/cm ³
Diaphysis	Total	570	≥ 806
	Cortical	909	≥ 1182
Epiphysis	Total	478	≥ 496
	Trabecular	351	≥ 295

¹ Loch, 2004

Discussion

Based on the dietary calculation, the protein content of Feed 1 and Feed 2 was in the ideal range for gestating and lactating sows respectively. The calcium content in Feed 1 and Feed 2 and the ratio from calcium to phosphorus in Feed 2 were slightly below the recommendations. Assuming an optimal phytase activity and a digestibility of the phosphorus of 70%, the recommendations for digestible phosphorus were covered. The recommendations for vitamin D3 per kg of feed were also met. The energy supply with the ration exceeded the recommendations for gestating gilts up to 150 kg on average by 10%. Even in lactating sows (with an assumed litter size of 9 piglets) the energy content of the ration exceeded the recommendations on average by 6.5% starting from the second week of lactation.

The bone mineral density measurement of metatarsi revealed a pattern of demineralization in both gilts. In particular the total and the cortical bone mineral density in the diaphysis of metatarsus were below the reference values in both GILT 1 and GILT 2. In GILT 2 the total bone mineral density in the distal bone (epiphysis) was slightly below the reference range. In both gilts the trabecular bone mineral density in the distal bone (epiphysis) was in the reference range. A loss of bone mineral density is physiological during gestation and lactation. However, in contrast to the epiphysis, bone normally is not readily absorbed from the diaphysis. Therefore, it cannot be excluded that a low intake of minerals with the diet (calcium and ratio of calcium to phosphorus slightly below the recommendations), nutritional mismanagement in the breeding farm or intestinal absorption disorders (e.g., protracted diarrhea) in the previous selection phases may have influenced the stability of bones in gilts and thus played a role in the onset of lameness.

In breeding gilts one of the most frequent nutritional mistakes is the excessive energy supply with the diet in order to accelerate growth and obtain high reproductive performances (Cools et al., 2014). However, a gradual body development should be preferred over a fast growth rate. A fast growth as

well as an excess body fat deposition in fact might lead to excessive load on the immature skeletal system, with the risk of improper alignment of the limbs up to spontaneous fractures (Rowles, 2001). An important parameter for assessing ideal body weight at all stages of production is the body condition score. In addition to a reduction in the load on the skeletal system, a greater potential in the reproductive performances (larger birth weights in the litter, higher milk production, shorter return to estrus post-weaning) were observed in gilts and sows while maintaining a BCS of 3 on a 5-point scale (Maes et al., 2004). For a proper skeletal development an adequate supplementation of minerals and vitamins, in particular calcium, phosphorus and vitamin D, should be assured already during the selection of the gilts (Gutzwiller et al., 2010, Kolp et al., 2017). As the bones act as a mineral reserve, this is particularly important for the prevention of skeletal disorders during the gestation and lactation phases where a massive bone resorption (hormonally regulated) is required for fetal skeletal development and milk production (Loch, 2004).

Concluding remarks

According to the dietary calculation above an excessive energy intake with the diet could have played a role in the onset of lameness in these gilts. A poor bone mineralization can be related to the physiological negative balance of calcium during gestation and lactation or to an inadequate intake / absorption of minerals in the previous stages of the production cycle that was unknown in this case. The completion of growth and the adequate body and skeletal development are essential for determining the optimal age of breeding gilts and ensuring lifetime reproductive performances. Where genetic selection and / or breed predisposition allow for early mating of gilts, the adaptation of the nutritional requirements would be necessary to prevent the onset of disorders related to nutritional deficiencies and ensure overall productivity and profitability in pig farming.

References

- Malanda, J., Balogh, P., Novotni Dankó, G. (2019): Optimal age of breeding gilts and its impact on lifetime performance. *Acta agrar. Debr.*, **2**: 15-20
- Peo, E.R. (1991): Calcium, phosphorus, and vitamin D in swine nutrition. *Swine Nutrition*, E.r. Miller, D.E. Ullery, and A.J. Lewis, eds. Stoneham, Pp. 165-182 in ME: Butterworth-Heinemann Publishing.
- Agroscope (2016): Fütterungsempfehlungen für Schweine (Gelbes Buch). *Access*: <http://www.agroscope.admin.ch> (Date of consultation: 18.02.2020)
- Loch, L. (2004): Einfluss von Phytase auf den Knochenstoffwechsel von Zuchtsauen im Wachstum bis zur ersten Laktation. Dissertation, Institut für Tierernährung, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

Cools, A., Maes, D., Decaluwé, R., Buyse, J., van Kempen, T.A.T.G., Liesegang, A., Janssens, G.P. J. (2014). Ad libitum feeding during the peripartal period affects bodycondition, reproduction results and metabolism of sows. *Anim. Reprod. Sci.*, **145**(3-4):130-140

Rowles, C. (2001): Sow Lameness. *J Swine Health Prod.*, **9**(3):130-131

Maes, D., Janssens, G., Delputte, P., Lammertyn, A., de Kruif, A. (2004): Back Fat Measurements in Sows from Three Commercial Pig Herds: Relationship with Reproductive Efficiency and Correlation with Visual Body Condition Scores. *Livest. Prod. Sci.*, **91**(1-2): 57-67

Gutzwiller, A., Liesegang, A., Stoll, P. (2010): Einfluss eines tiefen Phosphorgehalts im Futter auf die Knochenmineralisation wachsender Schweine. *ART-Tagungsband*, IGN **24**: 84-85

Kolp, E., Wilkens, M.R., Pendl, W., Eichenberger, B., Liesegang, A. (2017): Vitamin D metabolism in growing pigs: influence of UVB irradiation and dietary vitamin D supply on calcium homeostasis, its regulation and bone metabolism. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)*, 101 Suppl. **1**:79-94.

Zusammenhänge von verschiedenen Zahnabriebsparametern beim Meerschweinchen

L.F. Martin¹, D. Winkler², T. Tütken², T.M. Kaiser³, D. Codron⁴, J.-M. Hatt¹ und M. Clauss¹

¹Klinik für Zoo-, Heim- und Wildtiere, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, 8057 Zürich, Schweiz

²Institute für Geowissenschaften, Johannes-Gutenberg Universität Mainz, Deutschland

³Centrum für Naturkunde, Universität Hamburg, Deutschland

⁴Department of Zoology, University of the Free State, Bloemfontein, Südafrika

Kontakt: Marcus Clauss, mclauss@vetclinics.uzh.ch

Bei herbivoren Tieren ist der Zahnabrieb stark von der Abrasivität des aufgenommenen Futters abhängig (Ungar, 2015). Dabei spielen die Grösse der abrasiven Elemente (Schluff bis Sand) sowie Herkunft (Phytolithe oder externer Quarz), Konzentration und Form eine wichtige Rolle (Winkler et al., 2020). Quantifiziert wird der Zahnabrieb in der Literatur anhand verschiedener Messmethoden. Makroskopisch werden Zahnhöhen (Müller et al., 2014), Zahnvolumina (Ackermans et al., 2020a), Grösse der Kauflächen (Martin et al., 2019), Schärfe der Zahnspitzen oder Aussehen des Oberflächenreliefs (=Mesowear; Fortelius und Solounias, 2000) vermessen, während auf mikroskopischer Ebene die Oberfläche des Zahnschmelz anhand von industriellen Parametern mittels Dental Microwear Texture Analysis (DMTA) beschrieben wird (Schulz et al., 2010). Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Messgrössen ist bisher weitgehend unerforscht (Martin et al., 2020) und wird hier am Gebiss von Meerschweinchen (n=66) analysiert, welche entweder pelletiertes Futter mit Abrasiva unterschiedlicher Konzentration und Grösse, oder natürliche Futtermittel mit unterschiedlichem Phytolithgehalt erhielten. Als makroskopische Masse wurden Zahnhöhe, Dentinbeckentiefe und Grösse der Kaufläche erfasst, mikroskopische Abriebsspuren wurden mittels DMTA gemessen, und anschliessend die Parameter untereinander verglichen. Bei externen Abrasiva wiesen höhere Zähne grössere Kauflächen auf, während das Gegenteil bei den natürlichen Diäten der Fall war. Bei hypselodonten Zähnen ist dies ein noch unerklärter Effekt. Tiefere Dentinbecken traten zusammen mit kürzeren Zähnen in der Maxilla auf – ein Effekt, der bei Quarzabrasiva besonders ausgeprägt war. Dentin ist im Verhältnis zu Zahnschmelz wesentlich weicher und wird daher eher von Abrasiva ausgehöhlt – um so mehr, je härter die Abrasiva. Die Aushöhlung des stabilisierenden Dentins kann dann in einem zweiten Schritt zu einem Abrieb des gesamten Zahns führen. Bestimmte DMTA-Parameter – die sogenannten Volumen-, Plateau-, Höhen-, und Komplexitätsparameter – wiesen bei allen Futtergruppen Zusammenhänge mit der

makroskopischen Zahnhöhe auf, was dafür spricht, dass diese mikroskopischen Muster als Surrogatmasse für tatsächlichen Abrieb angesehen werden können. Die Tatsache, dass in einer ähnlichen Studie mit Schaf-Zähnen (Ackermans et al., 2021b), spricht dafür, dass die Repräsentativität von mikroskopischen Mustern für tatsächlichen Zahnabrieb von der Härte des jeweiligen Materials abhängt: Bei einem Abrieb von 1-2 mm pro Woche muss Zahnschmelz von Nagern weniger hart sein als der von Wiederkäuern mit einem Abrieb von 1-2 mm pro Jahr.

Literatur

Ackermans, N.L., Martin, L.F., Codron, D., Kircher, P.R., Richter, H., Clauss, M., Hatt, J.-M. (2021): Confirmation of a wear-compensation mechanism in dental roots of ruminants. *Anat. Rec.* **304**: 425-436

Ackermans, N.L., Winkler, D.E., Kaiser, T.M., Martin, L.F., Schulz-Kornas, E., Hatt, J.-M., Clauss, M. (2021): Correlation of dietary wear proxies in a long term feeding experiment with sheep (*Ovis aries*). (revision in review)

Fortelius, M., Solounias, N. (2000): Functional characterization of ungulate molars using the abrasion-attrition wear gradient: a new method for reconstructing paleodiets. *Am. Mus. Nov.* **3301**: 1-36

Martin, L.F., Krause, L., Ulbricht, A., Winkler, D.E., Codron, D., Kaiser, T.M., Müller, J., Hummel, J., Clauss, M., Hatt, J.-M., Schulz-Kornas, E. (2020): Dental wear at macro- and microscopic scale in rabbits fed diets of different abrasiveness: A pilot investigation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* **556**: 109886

Martin, L.F., Winkler, D.E., Tütken, T., Codron, D., De Cuyper, A., Hatt, J.-M., Clauss, M. (2019): The way wear goes: phytolith-based wear on the dentine-enamel system in guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Proc. R. Soc. B* **286**: 20191921

Müller, J., Clauss, M., Codron, D., Schulz, E., Hummel, J., Fortelius, M., Kircher, P.R., Hatt, J.-M. (2014): Growth and wear of incisor and cheek teeth in domestic rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) fed diets of different abrasiveness. *J. Exp. Zool.* **321**: 283-298

Schulz, E., Calandra, I., Kaiser, T.M. (2010): Applying tribology to teeth of hoofed mammals. *Scanning* **32**: 162-182

Ungar, P.S. (2015): Mammalian dental function and wear: A review. *Biosurf. Biotribol.* **1**: 25-41

Winkler, D.E., Tütken, T., Schulz-Kornas, E., Kaiser, T.M., Müller, J., Leichliter, J., Weber, K., Hatt, J.-M., Clauss, M. (2020): Shape, size, and quantity of ingested external abrasives influence dental microwear texture formation in guinea pigs. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **117**: 22264.

Metabolic effects of dietary restriction in major urinary protein knockout mice

S. Greve¹ G.A. Kuhn² and K. Giller¹

¹ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Universitaetstrasse 2, 8092 Zurich, Switzerland

²ETH Zurich, Institute for Biomechanics, Leopold-Ruzicka-Weg 4, 8093 Zurich, Switzerland

Kontakt: Sarah Greve, sarah.greve@usys.ethz.ch

Introduction

The 21 isoforms of the major urinary protein (Mup) gene family are involved in pheromone signaling and account for 90% of the total protein content in the mouse urine. After the onset of puberty, Mup is mainly expressed in the liver with significantly higher expression in males than in females (Charkoftaki et al. 2019). The Mup expression is modulated by body weight (Zhou et al. 2009). Accordingly, dietary restriction (DR, 25% reduced feed intake compared to *ad libitum* (AL) conditions) in male C57BL/6 mice resulted in lower hepatic expression of all Mup isoforms (Giller et al. 2013). This DR-mediated lower total Mup expression was accompanied by beneficially affected lipogenic markers. These findings raise the idea of a beneficial regulatory function of Mup in metabolism potentially mediating the beneficial effects of DR (Zhou et al. 2009; Hui et al. 2009). By using a CRISPR/Cas9-mediated Mup knockout (KO) mouse model, the present study pursues to investigate the role of Mup in the adaption of lipid metabolism during DR.

Methods

Male (n=64) and female (n=64) C57/BL6N mice were housed in groups of four animals with always two wild type (WT) and two homozygous KO animals per cage. The initial feed intake per cage was monitored for 14 days prior to the experiment. At 8–10 weeks of age, the cages were randomly assigned to DR (-35% of feed compared to AL intake) or AL (-10% of feed compared to AL intake to prevent obesity) feeding, resulting in four intervention groups per sex (KO/AL, KO/DR, WT/AL, WT/DR; n=16). The DR was introduced in three intervals of 10%, 25%, and 35% reduction compared to the initial feed intake during three consecutive weeks. Mice of both intervention groups were separated daily for the feeding, to counteract individual differences in feed intake arising along with hierarchy effects in group housing. The body weight (BW) was monitored by weekly weighing. After six months of intervention, a subset of mice from each intervention group (n=8) was randomly chosen

and visceral adipose tissue volume (VAT) in the region of the lumbar vertebrae L1–L5 was assessed by micro-computed tomography (vivaCT 80, Scanco Medical AG, Brütisellen, Switzerland). Subsequently, mice were sacrificed by cardiac puncture and blood was collected in EDTA tubes to obtain plasma. Perigonadal adipose tissue was excised and weighed. Plasma triglycerides, cholesterol and leptin concentrations were analyzed using commercial assays (Analyticon Biotechnologies AG, Lichtenfels, Germany & Crystalchem, Chicago IL, USA). A linear mixed model (model 1) including sex, genotype, dietary intervention, and all of their two- and three-way interactions as fixed factors and cage number as random factor was used for data analysis of all parameters except of BW. For the BW, model 1 was complemented by the animal number as a second random factor (model 2) to correct data for repeated measures of BW. Pairwise comparisons of the intervention groups were performed by Tukey's HSD post hoc test. A $p < 0.05$ was considered as statistically significant.

Results

According to the experimental design, the DR animals had a lower feed intake than the AL animals (2.29 vs 3.13 ± 0.51 g (mean \pm SD), $p < 0.001$). Consequently, the BW was lower in the DR compared to the AL mice (18.1 vs 23.3 ± 3.36 g, $p < 0.001$). We did not observe differences in BW between KO and WT animals (20.6 vs 20.8 ± 3.36 g, $p = 0.74$). The body composition of DR mice showed a lower VAT proportion in comparison to the AL mice (0.5 vs $6.9 \pm 5.8\%$, $p < 0.001$) as well as a lower perigonadal adipose tissue mass relative to BW (4.11 vs 14.6 ± 9.28 mg/g BW, $p < 0.001$). We also observed differences in VAT proportion between KO and WT mice (2.9 vs. $4.7 \pm 5.8\%$, $p = 0.02$) and a trend towards lower perigonadal adipose tissue mass (8.39 vs 10.5 ± 9.24 mg/g BW, $p = 0.08$). Plasma leptin concentration was lower in DR compared to AL mice (1.20 vs 2.02 ± 1.21 mg/dl, $p = 0.03$), as well as lower in KO compared to WT mice by trend (1.33 vs 1.91 ± 1.21 mg/dl, $p = 0.052$). Plasma triglyceride and cholesterol concentrations were lower in the DR than in the AL animals (39.0 vs 47.2 ± 14.3 mg/dl, $p = 0.03$ and 61.8 vs 86.2 ± 21.8 mg/dl, $p < 0.001$, respectively) but did not differ (triglycerides: 40.8 vs 45.5 ± 14.3 mg/dl, $p = 0.18$; cholesterol: 71.9 vs 76.8 ± 21.8 mg/dl, $p = 0.25$) between KO and WT mice. Furthermore, interactions of diet \times genotype ($p = 0.03$) and a trend of diet \times sex ($p = 0.06$) were observed for the VAT proportion. For BW, an interaction of diet \times sex ($p = 0.01$) was observed. For all other parameters, we did not observe any sexual dimorphic pattern along with dietary intervention or genotype.

Discussion and Outlook

In line with the previous literature, the DR groups of the present study showed an overall improved metabolic pattern including lower BW, lower adipose tissue proportion and lower plasma concentrations of lipid metabolic markers. In addition, the KO mice showed lower VAT proportion, perigonadal adipose tissue mass and plasma leptin concentrations, but did not differ in BW, cholesterol, or triglyceride plasma concentrations in comparison to their WT littermates. In conclusion, the effects of the DR on body composition and lipid metabolism are more pronounced than the effects of the KO. Nonetheless, as leptin is the key regulator of lipid metabolism including pathways related to lipogenesis and fatty acid oxidation (Houseknecht et al. 2003), the trend of a lower leptin plasma concentration in KO compared to WT animals in combination with lower VAT proportion and perigonadal adipose tissue mass may point towards a KO-mediated metabolic state which is also present along with DR. The potential regulation of the leptin signaling cascade in the KO animals observed in the present study is currently under further investigation on the molecular level.

References

- Charkoftaki, G., Wang, Y., McAndrews, M., Bruford, E.A., Thompson, D.C., Vasiliou, V., Nebert, D.W. (2019): Update on the human and mouse lipocalin (LCN) gene family, including evidence the mouse Mup cluster is result of an "evolutionary bloom". *Hum. Genomics*. **13**: 11
- Giller, K., Huebbe, P., Doering, F., Pallauf, K., Rimbach, G. (2013): Major urinary protein 5, a scent communication protein, is regulated by dietary restriction and subsequent re-feeding in mice. *Proc. Biol. Sci.* **280**: 20130101
- Houseknecht, K. and Spurlock, M. (2003): Leptin regulation of lipid homeostasis: Dietary and metabolic implications. *Nutrition Research Reviews*. **16**: 83-96
- Hui, X., Zhu, W., Wang, Y., Lam, K.S., Zhang, J., Wu, D., Kraegen, E.W., Li, Y., Xu, A. (2009): Major urinary protein-1 increases energy expenditure and improves glucose intolerance through enhancing mitochondrial function in skeletal muscle of diabetic mice. *J. Biol. Chem.* **284**: 14050-14057
- Zhou, Y., Jiang, L., Rui, L. (2009): Identification of MUP1 as a regulator for glucose and lipid metabolism in mice. *J. Biol. Chem.* **284**: 11152-11159.

IVF supplementation with theophylline improves *in vitro* developmental rates and maintains embryo quality

S. Bernal-Ulloa and S.E. Ulbrich

ETH Zurich, Animal Physiology, Institute of Agricultural Sciences, Switzerland

Contact: Sandra Bernal-Ulloa, sandra.bernal@usys.ethz.ch

Many efforts have been made to improve the sperm penetration ability for *in vitro* embryo production (IVP). However, highly variable responses of sperm from fertile bulls proven in the field to different media supplements during *in vitro* fertilization (IVF) still persist. Irrespective of the sperm concentration employed, results are unsatisfying and largely relate to the individual bull for yet unknown reasons (Seidel, 2016). Theophylline is a methylxanthine, which acts as a competitive non-selective phosphodiesterase (PDE) inhibitor to increase intracellular cAMP. It has recently been reported to boost and maintain *in vitro* blastocyst production due to prolonged motility and longevity of bovine sperm during IVF (Kang et al., 2015). In the present study, we evaluated the effects of theophylline supplementation during IVF on IVP outcomes of bulls with different blastocyst production (low and average) outcomes under standard conditions. Bovine ovaries were retrieved from a local abattoir. A total of 6750 cumulus-oocyte-complexes were obtained by slicing. Only cumulus-oocyte complexes (COC) from qualities I (>4 layers of compact cumulus cells (CC), clear and even cytoplasm) and II (<4 layers CC, cytoplasm with coarser appearance) were submitted to *in vitro* maturation (IVM), which lasted for 24h. The COC were cultured in DMEM medium supplemented with EGF, eCG and hCG. *In vitro* fertilization was performed for 19h with or without theophylline (2.5 mM) using frozen-thawed sperm from 12 different bulls (A - L) with known satisfactory non-return-rates above 70%. The final sperm concentration was adjusted to 2×10^6 cells/ml. After IVF, presumptive zygotes were either cultured *in vitro* in SOFaa medium for 8 days until the blastocyst stage or fixed for sperm penetration evaluation. Cleavage and blastocyst rates were evaluated 3 and 8 days after IVF, respectively. Furthermore, single day 8 blastocysts (n=3-4/bull/treatment) were subjected to qRT-PCR by using the Dynamic Array Biomark system for gene expression analysis. The R software (R Development Core Team, 2016) was used to evaluate cleavage, penetration and blastocyst rates and gene expression using one-way ANOVA. The supplementation of theophylline significantly increased cleavage, penetration and blastocyst rates for most of the bulls with low performance (Tables 1-2; $P < 0.05$). The mRNA gene expression profiles

for 52 genes involved in embryo development, metabolism and DNA methylation, did not differ with the addition of theophylline. Our results indicate that *in vitro* blastocyst production for low performance bulls can be improved by theophylline supplementation during IVF, without influencing embryo quality. The underlying mechanism possibly comprise increased intra-sperm cAMP levels to improve oocyte-sperm interaction.

Table 1. Penetration rates with and without the use of theophylline during IVF.

Bull Performance	Bull	Treatment	Total zygotes (n)	Total normal penetration %	Total polyspermy %	Total unfertilized oocytes %
Average	A	T	98	89.4±3.3	4.6±3	5.9±1.2
	A	NT	101	92.6±2.1	1.3±1.3	6.2±0.8
	B	T	115	88.8±0.6	2.9±2.9	8.3±3.1
	B	NT	123	69.4±11	2.7±2.7	27.9±12.7
	D	T	123	82.2±7	0.7±0.7	17.1±7.5
	D	NT	117	76.3±8.2	3.3±2.0	20.4±9.8
	Total	T	336	86.8±2.5	2.7±1.4	10.5±2.9
	Total	NT	341	79.4±5.3	2.4±1.1	18.2±9.8
Low	G	T	108	85.7±4.1 ^a	3.3±3.3	11.0±0.8 ^a
	G	NT	111	46.0±8.2 ^b	0±0	54.0±8.2 ^b
	I	T	118	66.3±4.9 ^a	0±0	33.7±4.9 ^a
	I	NT	114	27.2±7.8 ^b	0±0	72.8±7.8 ^b
	K	T	120	85.8±1.5	1.4±1.4	12.9±2.6
	K	NT	111	74.6±5.8	0±0	25.4±5.8
	Total	T	346	79.3±3.7 ^A	1.6±1.1	19.2±4.0 ^A
	Total	NT	336	49.3±13.5 ^B	0±0	50.7±13.5 ^B
Total		T	682	83.0±2.4*	2.1±0.8	14.8±2.6*
Total		NT	677	64.3±5.8	1.2±0.5	34.4±6.1

Table 2. Developmental rates with and without the use of theophylline during IVF.

Bull Performance	Bull	Treatment	Total oocytes (n)	Cleaved/oocytes (%)	Blastocyst/oocytes (%)	
Average	A	T	219	71.3±5.4	31.9±3.1	
	A	NT	176	77.6±1.9	35.1±2.7	
	B	T	151	75.6±1.4	32.9±6.2	
	B	NT	151	70.7±4.0	38.9±4.0	
	C	T	240	75.5±2.8	26.8±4.6	
	C	NT	215	68.8±1.4	33.2±3.4	
	D	T	165	72.2±2.6	31.4±2.2	
	D	NT	164	65.1±5.9	38.8±4.6	
	E	T	168	76.0±3.8	39.3±4.8	
	E	NT	171	66.3±7.0	27.0±3.6	
	F	T	153	70.9±6.5	30.0±5.6	
	F	NT	149	63.8±4.6	30.4±3.8	
		Total	T	1096	73.7±1.3 ^A	31.8±1.9
		Total	NT	1026	68.3±1.1 ^B	33.7±1.6
Low	G	T	383	67.9±2.3 ^a	34.6±2.7 ^a	
	G	NT	390	41.4±2.4 ^b	15.6±3.7 ^b	
	H	T	199	75.9±3.4	23.6±3.4	
	H	NT	195	63.1±5.4	22.1±4.9	
	I	T	351	52.7±5.3 ^a	25.5±4.4 ^a	
	I	NT	363	25.1±3.7 ^b	11.5±3.4 ^b	
	J	T	278	68.3±3.3 ^a	25.3±2.9 ^a	
	J	NT	286	41.6±6.2 ^b	11.1±1.1 ^b	
	K	T	187	78.5±1.1	42.3±6.1 ^a	
	K	NT	186	63.6±4.7	25.5±6.5 ^b	
	L	T	231	69.0±3.5 ^a	26.0±3.6 ^a	
	L	NT	220	46.7±6.8 ^b	18.1±2.1 ^b	
		Total	T	1629	66.6±3.9 ^A	28.8±2.0 ^A
		Total	NT	1640	43.5±0.8 ^B	16.0±1.6 ^B
Total		T		69.4±2.5 [*]	30.0±1.5 [*]	
Total		NT		53.3±0.8	23.0±1.6	

Data are the mean ± SEM. T= Theophylline, NT= No theophylline.

a, b indicate statistical significance for each bull in the same column; $P < 0.05$.

A, B indicate statistical significance for each bull performance group in the same column; $P < 0.05$.

Asterisks indicate statistical significance for the overall treatment; $P < 0.05$.

References

Kang, S.S., Koyama, K., Huang, W., Yang, Y., Yanagawa, Y., Takahashi, Y., Nagano, M. (2015): Addition of D-penicillamine, hypotaurine, and epinephrine (PHE) mixture to IVF medium maintains motility and longevity of bovine sperm and enhances stable production of blastocysts *in vitro*. *J. Reprod. Dev.* **61**: 99-105

R. Development Core Team (2016): R: A language and environment for statistical computing
R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

Seidel, G.E., Jr. (2016): Assisted reproduction with gametes and embryos: what research is needed and fundable? *Reprod. Fertil. Dev.* **28**: 125-129.

Acknowledgements

The authors thank Dr. Susanne Meese and Dr. Ulrich Witschi from Swissgenetics for the cooperation and donation of frozen bull sperm.

Intradermal vaccination – an underestimated method deserving new attention

B. Drews and S.E. Ulbrich

ETH Zurich, Animal Physiology, Institute of Agricultural Sciences, Zurich, Switzerland

Contact: Barbara Drews, barbara.drews@usys.ethz.ch

The dermis is highly vascularized, permeated by lymphatic vessels and equipped with a great variety of immune cells involved in innate as well as adaptive immune responses. For these reasons, the dermis has for long attracted attention as a target tissue for vaccination strategies. In fact, the intradermal delivery of antigens, originally developed by Charles Mantoux in the 1920's for tuberculin vaccination, is the oldest method of vaccination and still in use today. Due to the ease of application, intramuscular injections are at present the most common administrations for licensed vaccines. Only recently, the original intradermal route has been promisingly revisited. The intradermal application offers the advantage of directly stimulating antigen presenting cells, efficiently activating T cells and promoting B cell antibody production. Difficulties that have been experienced in the past with the correct placement of the vaccine in the dermal layer of the skin may be overcome with the use of newly developed microneedle systems. The latter offer additional advantages regarding the minimization of pain induction.

In this review, the morphology of the skin is explored with respect to the basic principles of the dermal immune response as well as pain perception. We elucidate that the application of vaccines into the dermal skin layer is an efficient way to elicit a solid cellular and humoral immune response. Both, the direct access to immune cells and dose sparing effects are of major advantage to mount to protective immunity. Likewise, intradermal antigen delivery represents a robust method for the generation of specific antibodies in animal model species. This is of great importance e.g. for the development of highly specific immune assays that can be used for the detection of minimal, but biologically relevant concentrations of hormones, cytokines, environmental pollutants or any further substances. Microneedles are a promising and most valuable tool to precisely deliver small injection volumes. The clinical application of this new method therefore needs to be further explored.

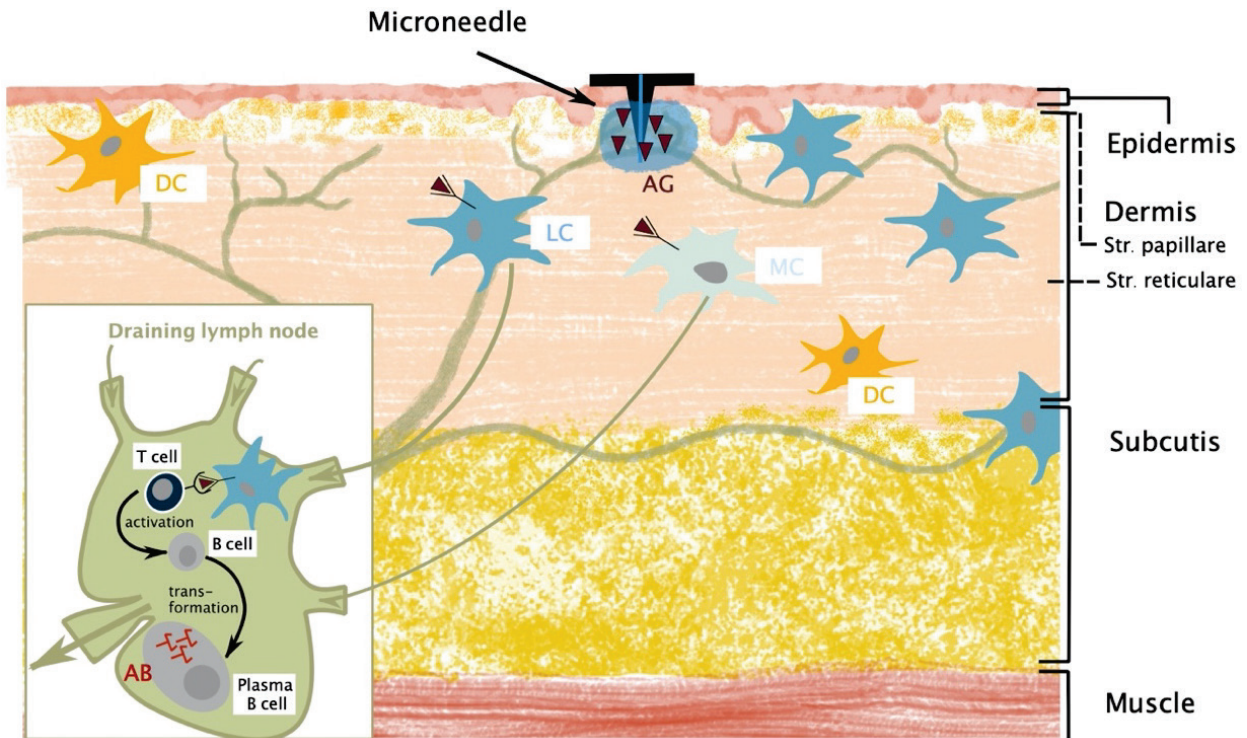


Figure 1: Microneedles allow the precise delivery of antigens to the Str. papillare dermal layer of the skin. Here, antigens can be effectively processed by antigen-presenting cells such as dermal dendritic cells (DC) and Langerhans cells (LH) and macrophages (MC). The direct migration of the dermal immune cells to draining lymph nodes of the skin bypasses the filtering system of the kidneys and the gastrointestinal tract, resulting in an optimized immune response. As superficial intradermal vaccination route, the use of microneedles minimizes the stimulation of pain receptors.

Classification accuracy of feeding and rumination behaviour of small ruminants using a jaw movement recorder

R. Berthel¹, A. Deichelbohrer¹, F. Dohme-Meier² and N. Keil¹

¹BLV, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Agroscope, Ettenhausen, Schweiz

²Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Posieux, Schweiz

Contact: Roxanne Berthel, Roxanne.berthel@agroscope.admin.ch

The recording of feeding and rumination behaviour is an important part of research on cattle and is also used as a monitoring tool in farming practice. Agroscope in cooperation with MSR electronics (Seuzach, Switzerland) developed a system for automated recording of the jaw movements of cows and the Software Viewer2 to calculate feeding and rumination durations, the temporal distribution of bouts as well as bite strikes precisely based on pressure changes of a pneumatic sensor fitted to the noseband of a head collar.

The purpose of this study was to adapt this system to small ruminants by evaluating the accuracy of the software to classify feeding and rumination behaviour of dairy sheep and goats.

In a first step, the rumination and feeding behaviour of ten goats and ten sheep on pasture were continuously recorded at a rate of 10Hz using the pneumatic MSR-Logger system and compared with direct live observations taking place at the same time. Data collection took one week for each species in September 2020. Between 8 am to 6 pm direct observations lasted for 4-6 hours per day using continuous focal data sampling of 10 min intervals of individual animals, resulting in 125-160 min of observation time per animal. For every second of observation time it was assessed, if the software classification of the logger recordings of feeding, ruminating or neither of the two agreed with the behaviour recording of the live observation. In total, 145'800 seconds of recording were compared. The Software showed an acceptable agreement for rumination and a high agreement for feeding with the direct observations. For identification of behaviour on pasture, the software has a better sensitivity for feeding than rumination, whereas it is less specific for feeding than rumination (see table).

Secondly, the accuracy of the Software Viewer2 classification of feeding and rumination behaviour recorded at two recording frequencies (10Hz, 20Hz) was evaluated. To do so, five sheep and five goats were filmed twice for three hours each in a pen where hay was fed behind a feeding fence, once wearing MSR loggers recording the jaw movements at 10 Hz and once at 20 Hz. In this setting, the Software classified two thirds of rumination and almost 90% of feeding correctly with 10 Hz data. A

recording rate of 20 Hz increased the correct classification to a high level for rumination and stayed equally high for feeding (see table). The increase of recording frequency to 20 Hz increased the sensitivity and specificity for feeding in the stable only slightly (see table), as it was on a high level at 10 Hz already. However, a frequency of 20 Hz improved the sensitivity of rumination considerably.

Table | Percent of agreement per second, percent of correctly classified seconds of behaviour (sensitivity) and percent of correctly classified seconds of non-behaviour (specificity) of the software behaviour classification from MSR logger recordings compared to direct/video observation behaviour recording.

Behaviour	Parameter	Pasture [10 Hz]	Stable [10 Hz]	Stable [20 Hz]
Feeding	Agreement	92.0 %	88.3 %	90.0 %
	Sensitivity	92.8 %	88.6 %	90.2 %
	Specificity	60.6 %	85.9 %	91.7 %
Rumination	Agreement	74.7 %	66.8 %	81.2 %
	Sensitivity	74.8 %	66.8 %	81.0 %
	Specificity	95.5 %	98.5 %	98.2 %

The major reason for lower values for rumination compared to feeding are based on a difference in the definition of rumination behaviour between the software and our observation ethogram. The ethogram included chewing and the breaks in between for swallowing and regurgitation of boli, whereas the software only counts the actual chewing activity and excludes those breaks.

In conclusion, the Viewer2 Software was able to reliably classify feeding and rumination behaviour assessed by pneumatic sensors in small ruminants despite being originally developed for cows. Depending on the purpose of use, the recording frequency of 10 Hz can satisfactory estimate feeding and rumination durations and the temporal distribution of bouts on pasture and in the stable. For more precise measurements, a 20 Hz frequency recording is advised. As the loggers provide full access to the raw data, the software could be used for further evaluations like the accuracy of the number of bite strikes or the integration of additional oral behaviours into the classification algorithms.

Die Futteraufnahme weidender Milchkühe ausschliesslich anhand des Fress- und Wiederkauverhaltens schätzen

F. Schori¹, M. Rombach^{1,2}, A. Mürger¹ und K.-H. Südekum²

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Tiolleyre 4, 1725 Posieux, Schweiz

²Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn, Deutschland

Kontakt: Fredy Schori, fredy.schori@agroscope.admin.ch

Einleitung

Wesentliche Ansatzpunkte für eine verbesserte Effizienz der Veredelung von Weidegras in Milch und Fleisch sind die Minimierung der Verluste an verfügbarer Biomasse auf der Weide sowie der Einsatz von effizienten Wiederkäuern. Bei beiden muss für die Bewertung die Futteraufnahme bekannt sein. Im Vergleich zur Stallfütterung stellt die Bestimmung der individuellen Futteraufnahme auf der Weide eine grössere Herausforderung dar. Infolgedessen werden viele Anstrengungen unternommen, um die Futteraufnahme von Milchkühen im Stall (de Souza et al., 2019) oder auf der Weide (Lahart et al., 2019, Rombach et al., 2019) indirekt zu schätzen. Obwohl Merkmale des Fress- und Wiederkauverhaltens von Milchkühen für die Schätzung der individuellen Futteraufnahme vielversprechend erscheinen, erklärte in Untersuchungen dazu ein einzelnes Verhaltensmerkmal maximal 35% der Variabilität (Rombach et al., nicht publiziert). Für eine genauere Schätzung der individuellen Futteraufnahme werden daher weitere Prädiktoren wie Leistung, Gewicht, Futterzusammensetzung und -angebot mit in die Modelle einbezogen (Lahart et al., 2019, Weide inklusive Ergänzungsfütterung im Stall; Rombach et al., 2019, ausschliesslich Futteraufnahme auf der Weide). Das Einbeziehen von Leistungsdaten zur Schätzung der Futteraufnahme kann für die Bestimmung von Effizienzmerkmalen störend sein, da die Leistung (z. B. Milchleistung) sowohl für die Bestimmung des Inputs als auch des Outputs verwendet wird. Dementsprechend sollten Schätzgleichungen für die Futteraufnahme entwickelt werden, die vom Output unabhängig sind. Folglich wurden in der vorgelegten Auswertung nur Daten des Fress- und Wiederkauverhaltens verwendet und mit Hilfe von multivariablen Regressionen eine Schätzung der Futteraufnahme von Milchkühen auf der Weide erstellt.

Material und Methoden

Die Resultate von vier Weideversuchen mit unterschiedlichen Verfahren bezüglich Ergänzungsfütterung (0 bis 7.9 kg d⁻¹ Mais-Ganzpflanzensilage oder 0 bis 4 kg d⁻¹ Kraftfutter), geschätztem Grasangebot (589 bis 2333 kg TS ha⁻¹) und Kuhtyp bildeten die Grundlage für die Auswertung. Red Holstein Kühe und zwei verschiedene Holsteinkuhtypen (Gewicht 428 bis 718 kg, Milchleistung 11.2 bis 34.2 kg d⁻¹) weideten in diesen Versuchen zwischen 16 bis 19 h d⁻¹. Es standen 105 7-Tages-Erhebungen der Futteraufnahme auf der Weide (durchschnittlich 12.9 kg d⁻¹, 4.7 bis 20.4), bestimmt anhand der n-Alkan Doppelmarkermethode (Rombach et al., 2019), zur Verfügung. Zeitgleich wurden das Fress- und Wiederkauverhalten mittels des RumiWatch-Systems (RWS, Itin & Hoch GmbH, Liestal, Schweiz, Halfter V 6.0, Converter 0.7.3.31, Rombach et al. (2018)) aufgezeichnet und ausgewertet. Um die Anzahl der ursprünglich 27 Verhaltensmerkmale zu reduzieren, wurden die besten Prädiktoren mittels des R Pakets «leaps» eruiert. Da die Stichprobengröße vergleichsweise klein war, wurde zur Validierung die Bootstrap-Kreuzvalidierungsmethode (R Paket «rms») herangezogen (R Core Team, 2018).

Resultate und Diskussion

Einerseits wurden in den Regressionsgleichungen Verhaltensmerkmale berücksichtigt, die nur während der täglichen Verweildauer auf der Weide erhoben wurden, wie z. B. die Fressdauer mit erhobenem Kopf (FDko, 7 bis 174 min), die Fressdauer mit gesenktem Kopf (FDku, 348 bis 680 min), die Kauschläge pro Wiederkaubolus (KBw, 37 bis 68) und die Anzahl anderer Kauschläge (AKw, 105 bis 1748). Andererseits wurden über den ganzen Tag gemittelte Verhaltensmerkmale wie die Fressdauer total (FDt, 441 bis 742 min), die Anzahl anderer Kauschläge (AKt, 189 bis 2816), die Wiederkaudauer (WDt, 303 bis 601 min) sowie die Wiederkaufrequenz (WFt, 57 bis 85 min⁻¹) mit einbezogen. Die Fehler (Wurzel des mittleren quadratischen Schätzfehlers) der fünf verschiedenen Regressionen zur Schätzung der Futteraufnahme von weidenden Milchkühen mit 4 bis 8 Prädiktoren lagen mit 1.93 bis 1.89 kg d⁻¹ nahe beieinander. Aus diesem Grund werden nachfolgend nur die beiden bezüglich der Anzahl Prädiktoren extremen Gleichungen vorgestellt:

$$FAw = 5.2 + 0.0492 \cdot FDko + 0.0613 \cdot FDku + 0.0017 \cdot AKw - 0.0431 \cdot FDt$$

$$FAw = 4.7 + 0.0447 \cdot FDko + 0.0574 \cdot FDku + 0.0068 \cdot AKw + 0.0121 \cdot WDt - 0.0507 \cdot KBw - 0.06 \cdot WFt - 0.0029 \cdot AKt - 0.0361 \cdot FDt$$

wobei die Abkürzung FAw für die Futteraufnahme der Milchkühe auf der Weide in kg Trockensubstanz pro Tag steht.

Der oben erwähnte Fehlerbereich entspricht in etwa einem relativen Fehler von 15 %. Rombach et al. (2019) erhielten je nach gewähltem Ansatz bestenfalls einen relativen Fehler von 11 bis 13 %. Einen relativen Fehler von etwa 10 % erreichten Lahart et al. (2019). Obwohl Fehler kleiner als 10 % wünschenswert wären, ist dieser Bereich nur schwer zu erreichen. Je nach Verwendung der Resultate können Fehler bis zu 20 % toleriert werden. Im Gegensatz zu Lahart et al. (2019) war in unserer Studie, wie auch bei Rombach et al. (2019) die Futteraufnahme auf der Weide die zentrale Grösse und nicht die gesamte Futteraufnahme pro Tag inklusiv Ergänzungsfütterung im Stall.

Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) ermöglichen den Vergleich der erklärenden Variablen in multiplen linearen Regressionen. In beiden vorgestellten Gleichungen erreichte FDku das höchste β (1,24 oder 1,70), gefolgt von AKw (Gleichung mit 8 Prädiktoren, 0,97) und FDt (Gleichung mit 4 Prädiktoren, - 0,87). Die negative Gewichtung von FDt ist wahrscheinlich auf die im Stall verzehrten Mengen an Maissilage oder Kraftfutter zurückzuführen. Üblicherweise verdrängen die aufgenommenen Mengen an Ergänzungsfutter die an Weidegras. Die Bedeutung von AKw kann mit dem individuellen Fressverhalten der Kühe oder mit falscher Zuordnung der Kauschläge zusammenhängen. Während FDku reissen die Milchkühe ein Grasbüschel ab, nehmen diesen auf, zerkleinern diesen und schlucken diesen ab. Bei FDko kommen eigentlich nur die Aktivitäten des Zerkleinerns und Schluckens vor. Dennoch scheinen gemäss den Gleichungen beide Verhaltensmerkmale, FDku und FDko, etwas zur Schätzung der Futteraufnahme auf der Weide beizutragen. Der Einbezug von Merkmalen des Wiederkauens wie WDt, KBw und WFt in die Gleichungen kann mit der Beziehung zwischen der Futteraufnahme und dem Fasergehalt sowie den physikalischen Eigenschaften der Ration zusammenhängen (Welch and Hopper, 1988).

Die ausschließlich auf Verhaltensmerkmalen basierende Futteraufnahmeschätzung hat den Vorteil, dass der Input für nachfolgende Effizienzberechnungen nicht mit Leistungsmerkmalen wie Milchleistung, Wachstum oder Körpergewicht berechnet wird. Darüber hinaus kann die Berücksichtigung von Verhaltensmerkmalen von Vorteil sein, falls die individuelle Futteraufnahme bedingt durch gesundheitliche Probleme, Verletzungen, Hitze und andere ungewöhnliche Umständen eingeschränkt ist. Natürlich müsste die Schätzung der individuellen Futteraufnahme genauer sein und auf einer breiteren Datenbasis beruhen.

Schlussfolgerung

Ein Verhaltensmerkmal reicht alleine nicht aus, um die individuelle Futteraufnahme von weidenden Milchkühen genau zu schätzen. Hingegen kann die geeignete Kombination mehrerer Verhaltensmerkmale den Fehler auf etwa 15% verkleinern. Die Schätzung der individuellen Futteraufnahme, die ausschließlich auf Verhaltensmerkmalen basiert, hat Vorteile, wie eine Output-unabhängige Inputschätzung für Berechnungen der Effizienz auf Stufe Tier. Des Weiteren ist der Bedarf an Messungen am Tier begrenzt und Analysen des Futters nicht notwendig. Schliesslich eröffnet die Methode auch ein Potenzial für die einfache Automatisierung der Schätzung der individuellen Futteraufnahme.

Literatur

De Souza, R.A., Tempelman, R.J., Allen, M.S. and VandeHaar, M.J. (2019): Updating predictions of dry matter intake of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **102**: 7948-7960

Lahart, B., McParland, D., Kennedy, E., Boland, T.M., Condon, T., Williams, M., Galvin, N., McCarthy, B. and Buckley, F. (2019): Predicting the dry matter intake of grazing dairy cows using infrared reflectance spectroscopy analysis. *J. Dairy Sci.* **102**: 8907-8918

Rombach, M., Münger, A., Niederhauser, J., Südekum, K.-H. and Schori, F. (2018): Evaluation and validation of an automatic jaw movement recorder (RumiWatch) for ingestive and rumination behaviors of dairy cows during grazing and supplementation. *J. Dairy Sci.* **101**: 2463-2475

Rombach, M., Südekum, K.-H., Münger, A. and Schori, F. (2019) Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioural, environmental, and feed variables. *J. Dairy Sci.* **102**: 2985-2999

R Core Team (2018): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org/>

Welch, J.G and Hopper A.P. (1988): Ingestion of feed and water. In: *THE RUMINANT ANIMAL: Digestive Physiology and Nutrition* (Church, D.C, ed). Prentice Hall, New Jersey, United States of America: S. 564.

Was sagt uns der Milchharnstoffgehalt?

A. Decker¹, S. Schrade¹, M. Keller², F. Dohme-Meier¹ und M. Zähler¹

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen / Rte de la Tioleyre 4, 1725 Posieux, Schweiz

²Agroscope, Forschungsgruppe Automatisierung und Arbeitsgestaltung, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz

Kontakt: Michael Zähler, michael.zaehner@agroscope.admin.ch

Hintergrund und Ziele

Der Milchharnstoffgehalt steht Milchviehbetrieben basierend auf der monatlichen Milchkontrolle auf Einzeltierbasis zur Verfügung. Er kann sowohl als Kontrollparameter zur Proteinversorgung der Tiere, als auch zur Abschätzung von Stickstoff (N)-Ausscheidungen eingesetzt werden (Nousiainen et al., 2004; Spek et al., 2013). Darüber hinaus bestehen Hinweise, dass mit Hilfe des Milchharnstoffgehaltes Rückschlüsse auf die Höhe der Ammoniak (NH₃)-Emissionen gezogen werden können (Schrade, 2009; Van Duinkerken et al., 2011). Da die N-Ausscheidungen über den Harn als Hauptquelle der NH₃-Emissionen im Stall anzusehen sind und auf den Betrieben nicht erfasst werden, könnte der Milchharnstoffgehalt als Indikator für die N-Ausscheidungen und somit auch für das NH₃-Emissionspotenzial verwendet werden. Ziel der vorliegenden Auswertung war es, den Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und den N-Ausscheidungen über den Harn auf Herdenebene unter Berücksichtigung des Rohprotein (RP)-Gehaltes in der Ration zu untersuchen.

Material und Methoden

Für die Auswertung wurden Daten von Agroscope in Tänikon verwendet, die im Emissionsversuchsstall im Rahmen von Emissionsmessungen zu verschiedenen Fütterungs- bzw. baulich-technischen Varianten in den Jahren 2015 bis 2018 erhoben wurden (Tab. 1). Der Stall unterteilt sich in zwei identische Abteile zu je 20 Kuhplätzen, in denen die Versuchsvarianten jeweils gleichzeitig getestet wurden. Die Zusammensetzung der Gruppen während der einzelnen Versuche war bezüglich Rasse (Brown Swiss, Schweizer Fleckvieh), Laktationsnummer und Laktationsstadium weitestgehend ausgeglichen. Sowohl Milch- als auch Harnproben (Spotsampling) wurden während der einzelnen Messphasen an insgesamt 27 Terminen entnommen. Bei jeder Probenahme wurde bei neun Tieren je Stallabteil, die sich in unterschiedlichen Laktationsstadien befanden, der Milchharnstoffgehalt (Infrarotspektroskopie) sowie die N-Konzentration im Harn analysiert. Für die Berechnung der N-Ausscheidung über den Harn wurde die Harnmenge anhand des Kreatiningehaltes im Harn und der Lebendmasse geschätzt (Burgos et al., 2005) und mit der N-Konzentration multipliziert. Der

Milchharnstoffgehalt wurde über das Aliquot aus Morgen- und Abendgemelk berechnet. Aus den Daten der neun Tiere pro Stallabteil und Probenstermin wurden jeweils Mittelwerte berechnet, so dass insgesamt 54 Datensätze ausgewertet werden konnten. Weiter wurden der RP- sowie Energiegehalt (NEL) des Futters (Teil-Mischrationen ergänzt durch tierindividuelle Kraftfutterzuteilung) pro Stallabteil während der Messphasen bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Korrelationen und einfachen linearen Regressionsmodellen mit R-Studio (R Version 3.6.3).

Tabelle 1: Übersicht über die Versuche aus den Jahren 2015 bis 2018 mit Angaben zum Laktationstag (Mittelwert; Minimum – Maximum) und energiekorrigierter Milchleistung (ECM) der jeweils beprobten Kühe

Jahr	Versuchsfrage	Messphase	Anzahl Probenahmen Harn + Milch	Laktations-tag	Ø ECM (kg/Tag)
2015	Laufflächen mit Gefälle vs. ohne Gefälle + Entmistungshäufigkeit	August, Oktober, November/Dezember	2 x 2 x 2 x	170; 30 - 391	28.5; 13.0 - 52.0
2016	Fressstände vs. ohne Fressstände + Entmistungshäufigkeit	Juni/Juli, September/Oktober, November/Dezember	2 x 2 x 1 x	161; 30 - 354	33.4; 12.2 - 52.9
2017_1	Hohes vs. tiefes RP-Niveau der Ration	Februar/März	4 x	174; 66 - 365	30.1; 13.7 - 51.0
2017_2	Laufflächen planbefestigt vs. perforiert + Entmistungshäufigkeit	Juni/Juli, September/Oktober, November/Dezember	2 x 2 x 2 x	158; 21 - 351	32.0; 8.3 - 56.7
2018	Silageration vs. silagefreie Ration	Juli, September/Oktober, November/Dezember	2 x 2 x 2 x	176; 20 - 394	27.7; 7.9 - 52.0

Ergebnisse und Diskussion

Das RP/NEL-Verhältnis lag im gesamten Auswertungszeitraum zwischen 18.4 und 26.8 g pro MJ, wobei ausschliesslich der Versuch 2017_1 (tiefes RP-Niveau) ein RP/NEL-Verhältnis von unter 20 g/MJ aufzeigte. Alle anderen Rationen lagen im Bereich der üblichen Fütterungsempfehlung von 20 - 30 g RP/MJ NEL. Über alle Proben hinweg variierten die RP-Gehalte im Futter zwischen 114 und 171 g pro kg Trockensubstanz (TS). Diese lagen sowohl in der Ration mit tiefem RP-Niveau als auch vereinzelt in der silagefreien Ration knapp unter der minimalen Anforderung von 120 g/kg TS, bei der eine optimale Pansenfermentation gewährleistet werden kann. Die N-Ausscheidungen im Harn variierten zwischen 70 und 275 g pro Tag, die Milchharnstoffgehalte zwischen 12 und 32 mg/100 ml. Bei allen drei Parametern lag die grösste Streuung innerhalb eines Versuchs bei den Fütterungsversuchen 2017_1 (hohes vs. tiefes RP-Niveau in der Ration) und 2018 (Silageration vs. silagefreie Ration) vor. Abbildung 1 zeigt die Korrelation zwischen dem RP-Gehalt im Futter und den N-Ausscheidungen im Harn über alle Versuche ($r = 0.67$) auf. Damit bestätigt der vorliegende

Datensatz das Ergebnis zahlreicher Studien, die einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem RP-Gehalt der Ration und den Harn-N-Ausscheidungen aufzeigten (z.B. Bracher, 2011; Colmenero und Broderick, 2006).

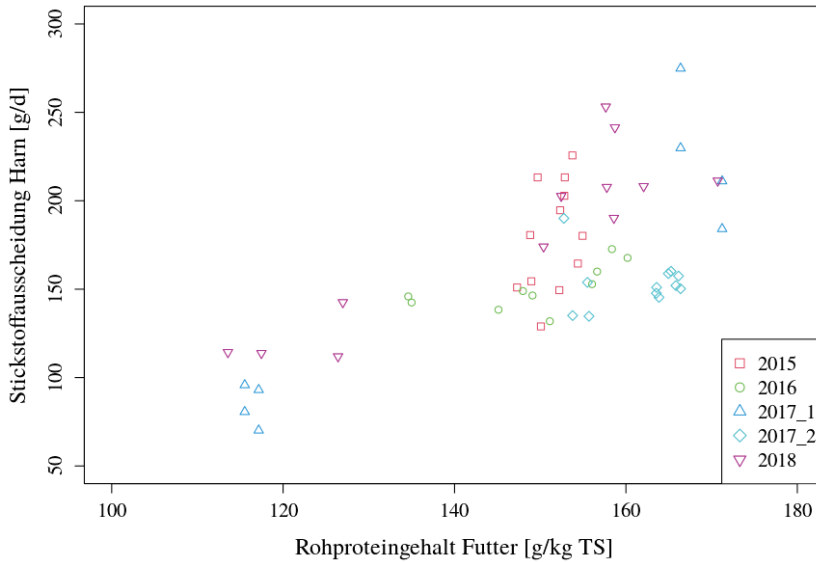


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen der N-Ausscheidung mit dem Harn (g/d) und dem RP-Gehalt im Futter (g/kg TS)

Zwischen dem Milchwahnstoffgehalt (mg/100 ml) und den N-Ausscheidungen über den Harn (g/d) ist ebenfalls ein deutlicher Zusammenhang erkennbar ($r = 0.77$; Abb. 2). Stimmt die NH_3 -Konzentration im Pansen nicht mit dem Bedarf der Mikroben überein, so reagiert der Wiederkäuer mit unterschiedlichen physiologischen Prozessen. Je nach Proteinversorgung wird NH_3 aus dem Pansen in der Leber zu Harnstoff synthetisiert und in den Kreislauf rezirkuliert oder neben der mengenmässig grössten Ausscheidung über den Harn auch über die Milch ausgeschieden.

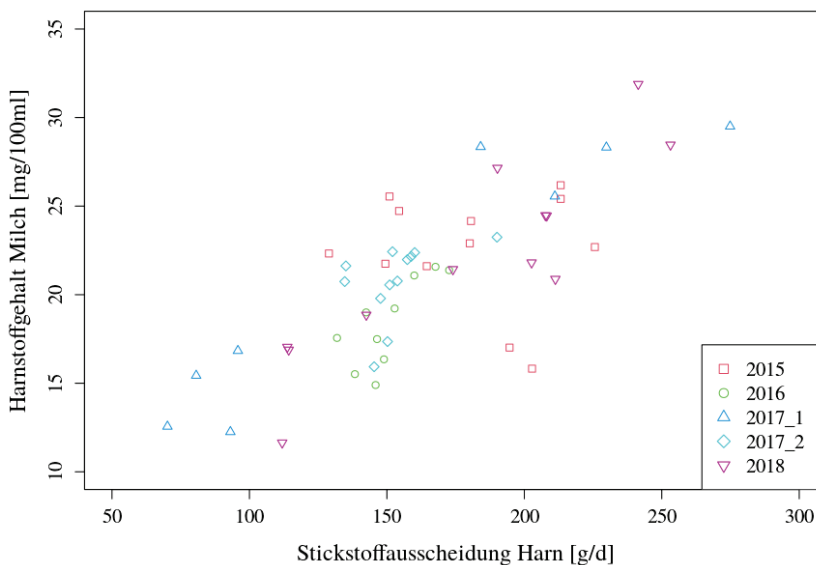


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen dem Milchwahnstoffgehalt (mg/100 ml) und den täglichen N-Ausscheidungen über den Harn (g/d)

Bereits zu Beginn der 2000er wurden Schätzgleichungen aufgestellt und Modellrechnungen durchgeführt, die diesen Zusammenhang zeigten (Kauffman und St.-Pierre, 2001; Nousiainen et al., 2004), welcher von Bracher (2011) anhand von Schweizer Datensätzen ebenfalls klar aufgezeigt werden konnte. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die bestehenden Zusammenhänge erneut.

Schlussfolgerungen

Die praxisnahen Daten aus dem Emissionsversuchsstall von Agroscope in Tänikon über mehrere Jahre zeigen einen deutlichen linearen Zusammenhang zwischen dem Milchwahstoffgehalt und der N-Ausscheidung über den Harn. Auch wenn Einflüsse durch z.B. Genetik, Laktationsstadium und Leistung bekannt sind, zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass der Milchwahstoffgehalt klare Hinweise auf die potentiellen N-Ausscheidungen der Herde geben kann. Der Milchwahstoffgehalt kann somit als geeigneter Indikator zur Einordnung der N-Ausscheidungen über den Harn herangezogen werden und dazu beitragen, NH₃-Verluste durch gezielte Kontrolle und Anpassung der Fütterung bereits zu Beginn der «Stickstoff-Kette» («Begin-of-Pipe») zu minimieren und Betriebe hinsichtlich ihrer Umweltwirkung zu sensibilisieren.

Literatur

- Bracher, A. (2011): Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). HAFL und Agroscope Liebefeld-Posieux
- Burgos, S.A., Robinson, P.H., Fadel, J.G. und DePeters, E.J. (2005): Ammonia volatilization potential: Prediction of urinary urea nitrogen output in lactating dairy cows. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **111**: 261-269
- Colmenero, J.J.O. und Broderick, G.A. (2006): Effect of Dietary Crude Protein Concentration on Milk Production and Nitrogen Utilization in Lactating Dairy Cows. *J. of Dairy Sc.*, **89**(5): 1704-1712
- Kauffman, A.J. und St-Pierre, N.R. (2001): The Relationship of Milk Urea Nitrogen to Urine Nitrogen Excretion in Holstein and Jersey Cows. *J. of Dairy Sc.*, **84**(10): 2284-2294
- Nousiainen, J., Shingfield, K.J. und Huhtanen, P. (2004): Evaluation of Milk Urea Nitrogen as a Diagnostic of Protein Feeding. *J. of Dairy Sc.*, **87**(2): 386-398
- Schrade, S. (2009): Ammoniak- und PM 10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ration-Methode. Dissertation. Uni Kiel, 131 S.
- Spek, J.W., Dijkstra, J., van Duinkerken, G., Hendriks, W.H. und Bannink, A. (2013): Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in Northwestern Europe and North America: A meta-analysis. *J. of Dairy Sc.*, **96**: 4310-4322
- Van Duinkerken, G., Smits, M. C.J., Andre, G., Šebek, L.B.J., und Dijkstra, J. (2011): Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *J. of Dairy Sc.*, **94**(1): 321-335.

An *in vitro* model system for studying rumen microbiome in absence of methane production

Y. Li¹, M. Kreuzer¹, M.-O. Ebert², C. Kunz¹ and M. Terranova¹

¹ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Universitaetstrasse 2, 8092 Zurich, Switzerland

²ETH Zurich, Laboratory of Organic Chemistry, Vladimir-Prelog-Weg 3, 8093 Zurich, Switzerland

Contact: Yang Li, yang.li@usys.ethz.ch

Enteric methane (CH₄) accounts for 27% of global anthropogenic emission (Jackson et al., 2020). Methanogenic archaea are the source of enteric CH₄. Approximately 78% of rumen methanogenic archaea are hydrogenotrophic, which use hydrogen (H₂) to reduce carbon dioxide (CO₂) to CH₄ (CO₂ + 4 H₂ → CH₄ + 2 H₂O), while approximately 22% are methylotrophic methanogens that generate energy by reducing methylated substrate such as methanol (CH₃-OH + H₂ → CH₄ + H₂O) (Henderson et al., 2015). This study intended to manipulate and simplify the rumen microbiome by aiding methylotrophic methanogens to out-compete other rumen methanogens. A simplified rumen methanogen population may be vulnerable to CH₄ mitigation strategies that have previously been ineffective.

We carried out the experiment with an 8-fermenter *in vitro* Rumen Simulation Technique (Rusitec) (Soliva and Hess, 2007). A methylamine precursor – choline – was supplemented for 15 days with four replicates. To ensure a constant selection pressure, the choline (200 mM) was infused inside the artificial saliva to be supplied constantly (403 ml/d) to the Rusitec. Two forms of choline – choline chloride (ChCl) and choline bicarbonate (ChHCO₃) were used to ensure that the observed effect was not an artefact. The diet consisted of 15 g dry matter of hay: wheat flakes: soybean meal (1:0.7:0.3) and a vitamin-mineral mixture supplied in feedbags. One group without supplement served as control. Each feedbag was digested for 48 hours. The choline infusion was equivalent to 750 g/kg (ChCl) and 888 g/kg (ChHCO₃) of diet, a dosage deliberately high to provoke massive changes in the rumen microbiome.

The dominance of methylotrophic methanogen was not achieved, but a sharp decline of all methanogens and the near complete mitigation ($p < 0.001$) of CH₄ emission at 97.9% and 96.5% was observed in ChCl and ChHCO₃ infusion respectively compared to the control (Figure 1). Especially

the ChCl treatment was terminal in its effect as three of the four replicates actually produced no quantifiable CH₄ from d12 onwards. There was a concomitant increase in H₂ production, which was higher with ChHCO₃ than with ChCl.

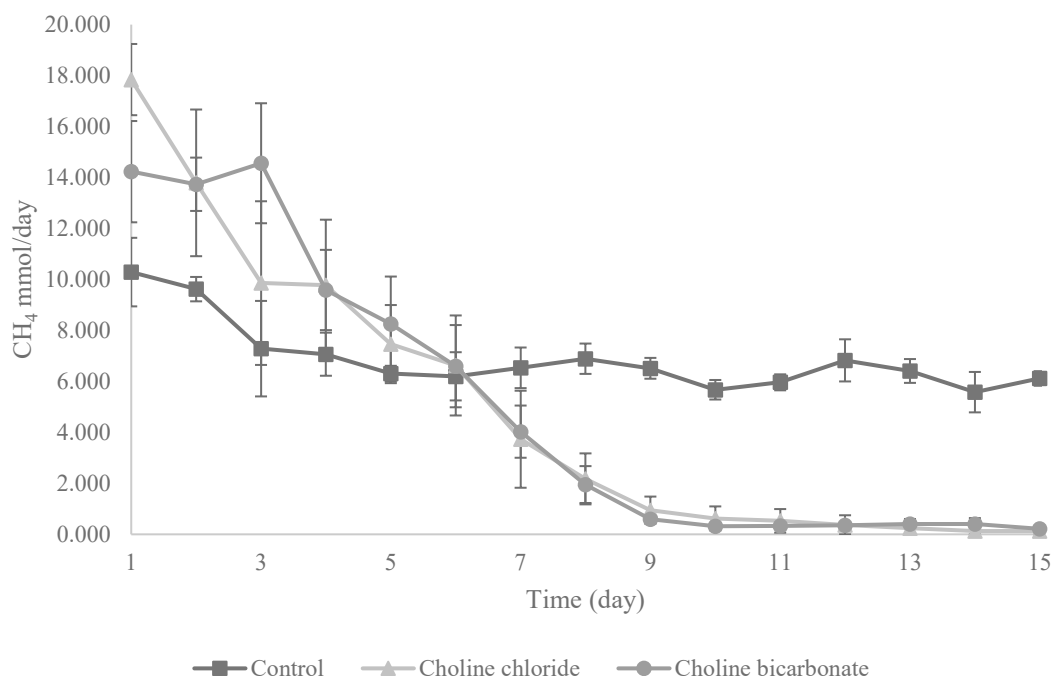


Figure 1. Effect of 200 mM of choline chloride and choline bicarbonate on CH₄ production

The metabolites in the Rusitec incubation fluid on d15 were identified and quantified by proton-nuclear-magnetic-resonance (hNMR). The metabolites were correlated to CH₄ production by Pearson correlation (*r*). It was established that trimethylamine (*r* = -0.99, *p*<0.001), ethanol (*r* = -0.95, *p*<0.001) and ammonia (NH₃) (*r* = -0.93, *p*<0.001) were strongly negatively correlated to CH₄ production.

The reason methanogens exist in the rumen are their ability to utilize H₂ for methanogenesis. This earned itself a unique niche, as H₂ is an unwanted by-product of feed fermentation. However, there are also other H₂-sinks than CH₄. Ethanol is one of the potential H₂ sinks within the rumen (Greening et al., 2019). Its negative correlation with CH₄ production suggests that, in absence of methanogens to produce CH₄, ethanol was likely one of the main alternative H₂-sinks in this experiment.

A very high concentration of ammonia (NH₃) was observed in the incubation liquid in the experiment. At the physiological ruminal pH of 6.5 or lower, NH₃ primary exist as ammonium NH₄⁺ ion (Hogan, 1961). Non-polar NH₃ passes through the cell membrane, and when it enters a methanogen, it can

sequester H⁺ away once from methanogenesis (Sprott and Pratel, 1986). The correlation and high concentration of NH₃ suggests that it may be one of the underlying causes of reduced CH₄ production. However, the level of NH₃ found would be toxic for livestock (Lewis, 1960), which renders this approach unfeasible in live animals. Still, as an *in vitro* system, it can be used to study how the rumen microbiome adapts in the absence of methanogenesis.

References

- Jackson, R.B., Saunio, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niva, Y., Segers, A. and Tsuruta, A. (2020): Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environ. Res. Lett.* **15**(7): 071002
- Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W. and Janssen, P.H. (2015): Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci. Rep.* **5**: 14567
- Soliva, C.R. and Hess, H.D. (2007): Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques. In: Makkar, H.P.S. and Vercoe, P.E., editors. *Measuring Methane Production from Ruminants*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 15-31
- Greening, C., Geier, R., Wang, C., Woods, L.C., Morales, S.E., McDonald, M.J., Rushton-Green, R., Morgan, X.C., Koike, S., Leahy, S.C., Kelly, W.J., Cann, I., Attwood, G.T., Cook, G.M. and Mackie, R.I. (2019): Diverse hydrogen production and consumption pathways influence methane production in ruminants. *ISME J.* **13**: 2617-2632
- Hogan, J.P. (1961): Absorption of ammonia through rumen of sheep. *Aust. J. Biol. Sci.* **14**: 448-460
- Sprott, G.D. and Patel, G.B. (1986): Ammonia toxicity in pure cultures of methanogenic bacteria. *Syst. Appl. Microbiol.* **7**: 358-363
- Lewis, D. (1960): Ammonia toxicity in the ruminant. *J. Agr. Sci.* **55**: 111-117.

NMVOC-Emissionen aus Milchviehställen - Vergleich einer silofreien Ration mit einer Silageration

M. Zähler¹, S. Wyss², F. Dohme-Meier¹, K. Zeyer², M. Hill², J. Mohn² und S. Schrade¹

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen / Route de la Tioleyre 4, 1725 Posieux, Schweiz

²Empa, Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik, 8600 Dübendorf, Schweiz

Kontakt: Michael Zähler, michael.zaehner@agroscope.admin.ch

Hintergrund und Ziele

Die Landwirtschaft und insbesondere die Rindviehhaltung ist eine wichtige Quelle von nicht-methanogenen flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC). Die vorhandene Datengrundlage zur Abschätzung der Schweizer NMVOC-Emissionen ist gemäss der Literaturstudie von Bühler et al. (2018) aus verschiedenen Gründen unzureichend: Bei den NMVOC, welche aus der Landwirtschaft emittiert werden, handelt es sich um eine umfangreiche Substanzklasse mit bis zu 500 Einzelkomponenten (Ni et al. 2012). Der relative Beitrag der Einzelverbindungen variiert in Abhängigkeit der Produktionsbedingungen wie beispielsweise Fütterung oder Haltungssystem. So dominieren bei Silage-Fütterung die NMVOC-Emissionen durch die Verbindungen Ethanol, Essigsäure sowie verschiedene Aldehyde und Ester aus der Futterfermentation (Alanis et al., 2008; Chung et al., 2010; Hafner et al., 2013). Silofrei produzierte Milch hat mit gut 30 % einen wesentlichen Anteil an der schweizerischen Milchproduktion (Milchstatistik 2019). Welche NMVOC-Verbindungen hierbei dominieren, ist aktuell unklar. Daher sind verlässliche Emissionswerte für unterschiedliche Fütterungsstrategien (Silage-Fütterung vs. silofreie Fütterung) von besonderer Bedeutung.

Ziel dieser Untersuchung war, in einem Haltungssystem für Milchvieh die NMVOC-Emissionen bei einer Silagefütterung mit einer silofreien Fütterung zu vergleichen.

Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Emissionsversuchsstall für Milchkühe von Agroscope in Tänikon durchgeführt. Zwei getrennte Stallabteile für je 20 Kühe ermöglichen die zeitgleiche Messungen. Die beiden Kuhgruppen setzten sich aus laktierenden Kühen der Rassen Braunvieh und Swiss Fleckvieh zusammen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Herdenzusammensetzung zu Beginn der jeweiligen

Messphasen hinsichtlich Rasse, Laktationsstadium, Laktationsnummer, Lebendmasse, Milchleistung und Milchharnstoffgehalt möglichst vergleichbar war.

Untersucht wurden zwei für die Schweiz typische Fütterungsvarianten „Silageration“ und „silofreie Ration“. Die Silageration bestand aus einer Teilmischration aus Grassilage, Maissilage sowie Heu/Emd und wurde einmal pro Tag vor dem Abendmelken mit dem Futtermischwagen vorgelegt. Die silofreie Ration bestand aus Heu/Emd kombiniert mit Mais- und Mais-Bohnen-Würfeln und wurde zweimal pro Tag jeweils vor dem Abend- und Morgenmelken am Futtertisch vorgelegt. Das Nachschieben von beiden Rationen erfolgte rund 18 Mal pro Tag automatisch mit einem Futtertuch. Die Trogreste von beiden Rationen wurden ein Mal pro Tag entfernt und der Futtertisch gereinigt. Die Kühe erhielten tierindividuell zusätzlich Proteinausgleichs- und Milchleistungsfutter über einen Kraftfutterautomaten.

Die Messungen, pro Versuchsphase 4 Tage, in den beiden Versuchsbereichen erfolgten jeweils zeitgleich, d.h. unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen, in den beiden Versuchsbereichen. Um den Effekt der beiden Rationen auf die Emissionen zu bestimmen, wurde ein gekreuztes Design („Cross-Design“) gewählt. D.h. zuerst bekamen die Kühe im Versuchsbereich 1 die silofreie Ration und gleichzeitig wurde im Versuchsbereich 2 die Silageration verfüttert (Versuchsphase 1). Anschliessend wurden die Rationen getauscht (Versuchsphase 2). Vor den Messungen erfolgte eine schrittweise Futterumstellung und eine Adaptationsphase von 9 Tagen. Um die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen im Jahresverlauf abzubilden, wurden Messungen im Sommer (Juni/Juli 2018), in der Übergangszeit (September/Oktober 2018) und im Winter (November/Dezember 2018) durchgeführt. Falls die Temperaturen an mehreren Messtagen nicht der Definition der jeweiligen Jahreszeit (nach Schrade 2009) entsprachen, wurden die Messungen verschoben.

Zur Bestimmung der Emissionen bei freier Lüftung wurde die von Empa und Agroscope gemeinsam entwickelte Tracer-Ratio-Methode angewendet. Durch Verwendung von zwei unterschiedlichen Tracergasen (SF_6 , SF_5CF_3) in den jeweiligen Stallbereichen, können die Emissionen der beiden Fütterungsvarianten separat bestimmt und quantifiziert werden (Mohn et al. 2018). Die Analyse der beiden Tracergase erfolgte mittels Gaschromatographie (GC-ECD, 7890A, Agilent Technologies AG, Schweiz). Die Konzentrationen der VOC-Einzelkomponenten wurden mittels Gaschromatographie (GC-FID-FID, 7890B, Agilent Technologies AG, Schweiz) bestimmt.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt den mittleren Tagesverlauf der Emissionen der NMVOC-Einzelverbindungen (GC-FID-FID) im Herbst 2018. Dabei sind nur die anteilmässig bedeutendsten Komponenten Ethanol, Ethylacetat und Methanol einzeln ausgewiesen. Der Beitrag von Ethanol an den

untersuchten NMVOC-Verbindungen ist im Herbst sowohl bei der Silageration mit rund 73 % als auch bei der silofreien Ration mit 51 % am grössten. Auch in den anderen Jahreszeiten dominierte die Komponente Ethanol die gesamten NMVOC-Emissionen (Silageration Sommer 80 %, Winter 70 %, silofreie Ration Sommer 41 %, Winter 51 %).

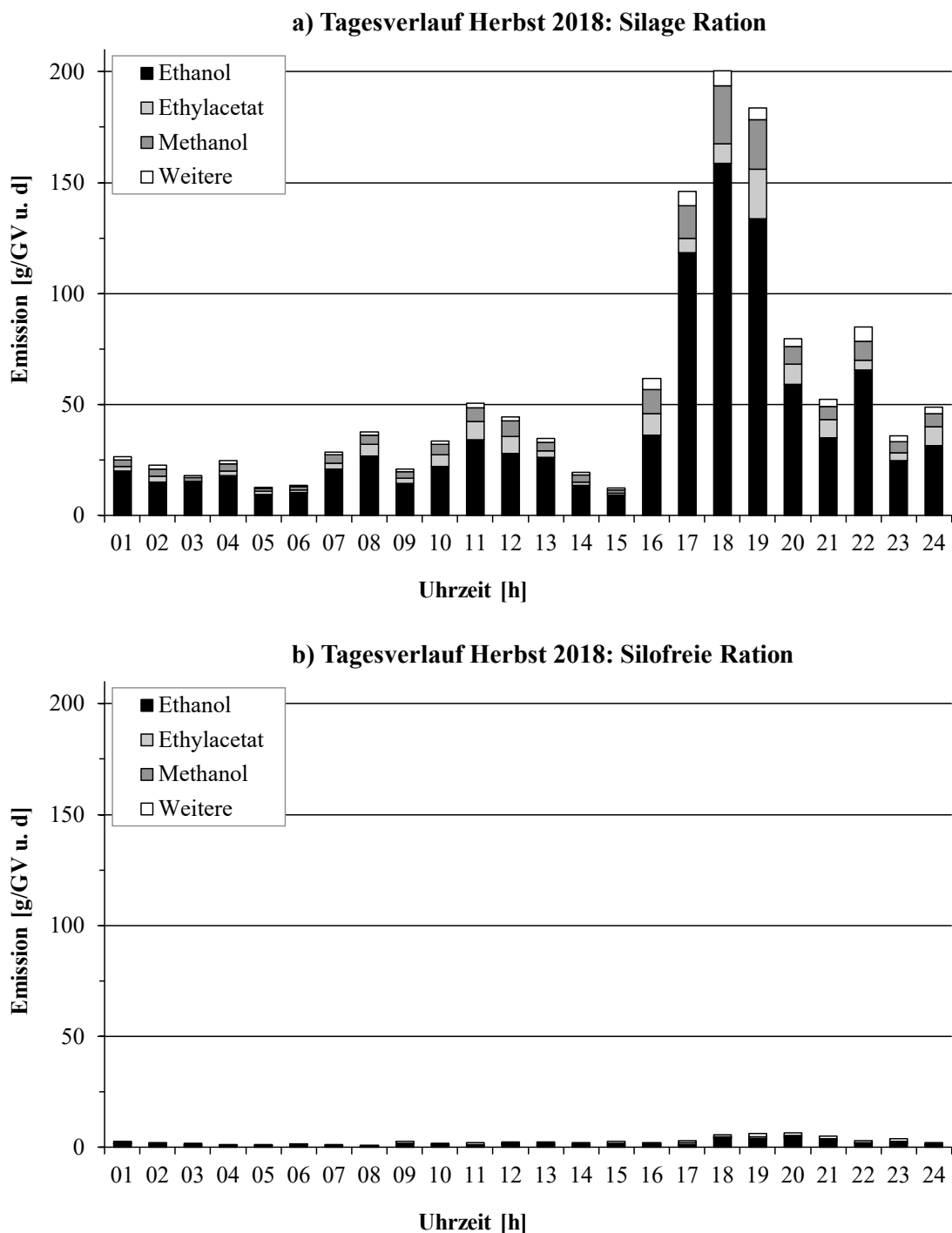


Abb. 1: Mittlere Tagesverläufe der NMVOC-Emissionen [g/GV u. d.] im Herbst bei der Silageration (a) und der silofreien Ration (b).

Sowohl bei der Silageration als auch bei der silofreien Ration waren die NMVOC-Emissionen von 17:00 bis 19:00 Uhr am höchsten (Abb. 1). Ein leichter Anstieg war ausserdem am Vormittag sichtbar. Insbesondere bei der Silageration könnte dies auf erhöhtes Bewegen des Futters bei der Futtervorlage mit dem Futtermischwagen und beim Fressen zurückgeführt werden. Das absolute Niveau der NMVOC-Emissionen lag bei der silofreien Ration um ein Vielfaches (10- bis 100-fach) tiefer. Zwischen den Jahreszeiten waren grosse Unterschiede sichtbar. Die Stundenmittelwerte lagen bei der silofreien Ration im Sommer zwischen 2 und 13, im Herbst zwischen 1 und 7 und im Winter zwischen 1 und 3 g pro GV (internationale Einheit «Grossvieheinheit», 1 GV = 500 kg Lebendmasse) und Tag. Dagegen waren die Höchstwerte bei der Silageration im Sommer gut 700, im Herbst 200 und Winter 70 g pro GV und Tag. Die jahreszeitlichen Unterschiede können mit dem Effekt der Temperatur auf die Stofffreisetzung relevanter NMVOC-Komponenten erklärt werden.

Schlussfolgerungen

Erstmals wurden NMVOC-Emissionen aus einem freigelüfteten Liegeboxen-Laufstall für zwei Schweiz-typische Fütterungsvarianten für Milchvieh (Silageration bzw. silofreie Ration) vergleichend bestimmt. Die Silageration hatte dabei wesentlich höhere Werte an NMVOC-Emissionen, hauptsächlich durch die beiden Einzelkomponenten Ethanol und Ethylacetat.

Literaturverzeichnis

- Alanis, P., Sorenson, M., Beene, M., Krauter, C., Shamp, B., Hasson, A.S. (2008): Measurement of non-enteric emission fluxes of volatile fatty acids from a California dairy by solid phase micro-extraction with gas chromatography/mass spectrometry. *Atmospheric Environment* **42**: 6417-6424
- Bühler, M., Kupper, T. (2018): Agricultural emissions of NMVOC and PM – Literature review and selection of emission factors. *Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen*, 81
- Chung, M.Y., Beene, M., Ashkan, S., Krauter, C., Hasson, A.S. (2010): Evaluation of non-enteric sources of non-methane volatile organic compound (NMVOC) emissions from dairies. *Atmospheric Environment* **44**: 786-794
- Hafner, S.D., Howard, C., Muck, R.E., Franco, R.B., Montes, F., Green, P.G., Mitloehner, F., Trabue, S.L., Rotz, A. (2013): Emission of volatile organic compounds from silage: Compounds, sources, and implications. *Atmospheric Environment* **77**: 827-839
- Milchstatistik (2019): Milchstatistik der Schweiz 2018. Herausgeber: *TSM, SMP, SCM, BO Milch, Agristat*, 100
- Mohn, J., Zeyer, K., Keck, M., Keller, M., Zähler, M., Poteko, J., Emmenegger, L., Schrade, S. (2018): A dual tracer ratio method for comparative emission measurements in an experimental dairy housing. *Atmospheric Environment* **179**: 12-22
- Schrade, S. (2009): Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode. *Dissertation Christian-Albrechts-Universität, Kiel*, 131
- Ni, J.Q., Robarge, W.P., Xiao, C., Heber, A.J. (2012): Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review. *Chemosphere* **89**: 769-788

Wirtschaftlichkeit der Neuweltkamelidenhaltung Schweiz

P. Hofmann und M. Boessinger

ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Tierernährung, 8092 Zürich, Schweiz

Kontakt: Marc Boessinger, marcandreas.boessinger@usys.ethz.ch

Ausgangslage und Ziel der Arbeit

Werden Neuweltkameliden in der Landwirtschaft aus Liebhaberei gehalten oder in der Hoffnung mit den Tieren das grosse Geld zu verdienen? Im Rahmen einer Bachelorarbeit versuchte Pascal Hofmann, Student der ETH Zürich, eine Antwort auf die Frage zu geben, ob sich die Haltung von Lamas und Alpakas auch wirtschaftlich lohnt? In der Schweiz nimmt die Anzahl der Neuweltkameliden (v.a. Alpakas) weiterhin zu (Agristat, 2020). Neben Hobbyhaltern interessieren sich vermehrt auch Landwirtschaftsbetriebe für die Haltungsform. Bis jetzt wurden für die Schweiz jedoch keine Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit erstellt. Ziel dieser Arbeit war es, mittels vergleichbarem Deckungsbeitrag die tatsächlichen Leistungen mit den variablen Kosten zu vergleichen. Ein Deckungsbeitrag soll die fixen Kosten abdecken und nach Möglichkeit einen Gewinn erwirtschaften. Die Wirtschaftlichkeit in Form des Deckungsbeitrags, erlaubt einen Vergleich der Lama- und Alpakahaltung mit Kosten und Erlös anderer tierischen Produktionsformen.

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Zur Berechnung des Deckungsbeitrags wurde eine Umfrage mit Angaben zum Betrieb, den Leistungen und Kosten erstellt, über den Verein Neuweltkameliden Schweiz (NWKS) publiziert, und an die Mitglieder der Organisation verschickt. Insgesamt erhielten 219 Mitglieder den Fragebogen. Aus den gesammelten Daten (20 auswertbare Rückmeldungen, wovon 11 Lama-Betriebe, 9 Alpaka-Betriebe) wurde der Deckungsbeitrag berechnet (Boessinger et al., 2020). Zusätzlich zur Umfrage wurden drei Betriebe mit jeweils über 50 Tieren besucht und die berechneten Werte mit den Betriebsleitenden verglichen und diskutiert. Da die Leistungen von Neuweltkameliden oft miteinander gekoppelt sind, hat eine Unterteilung in separate Produktionszweige wie Zuchttierverkauf, reine Fleisch- oder Wollproduktion wenig Sinn. Stattdessen wurde eine Aufteilung in «Classic-Lamas» und «Alpakas» gemacht. Zusätzlich zum Deckungsbeitrag wurde der Arbeitszeitbedarf pro Muttertier ermittelt (Moriz et al., 2007), welcher sich aus Stallarbeit, Betriebsführungs- und Sonderarbeiten sowie der Vermarktung zusammensetzt.

Preise in der Haltung der Tiere

Die Befragung ergab identische, durchschnittliche Preise für Lamas und Alpakas. Der Verkaufspreis für zweijährige Jungstuten variiert zwischen CHF 1000.- und 3000.- Für zweijährige Junghengste werden Preise von CHF 1500.- erzielt. Exterieur-Beurteilung, Stammbaum und Zuchtwert spielen beim Verkauf eine grosse Rolle, wobei Preise von CHF 1000.- bis 3500.- bezahlt werden. Für gute Deckhengste werden Erlöse bis zu CHF 7000.- erzielt. Für die Berechnungen wurde ein durchschnittlicher Preis von CHF 4500.- festgelegt.

Die Fleischpreise orientieren sich an den Erlösen aus dem Jungtierverkauf. Bei Neuweltkameliden werden durchschnittlich CHF 35.-/kg verkaufsfertigem Fleisch erzielt.

Die Beschaffenheit und geringe Menge der Wolle von Classic-Lamas lassen eine Weiterverarbeitung wirtschaftlich gesehen nicht zu. Bei den «Wooly-Lamas» und Alpakas werden für die sortierte Rohwolle Preise von rund CHF 10.-/kg bezahlt. Sofern man die Tiere nicht selbst schert, übersteigen die Kosten aus der Schur auch hier die Erlöse aus dem Verkauf. Der Richtpreis für das Scheren beträgt CHF 50.- pro Tier. Die Wolle von Classic-Lamas kann auf dem Markt, wie Schafwolle auch, für rund CHF 1.-/kg verkauft werden.

Produktionsdaten

Für die Berechnungen der Produktionsdaten wurde von 30 Muttertieren pro Betrieb ausgegangen, wobei im Deckungsbeitrag immer mit einer Muttertier-Einheit gerechnet wird. Lamas sind mit rund 150 kg Lebendgewicht mehr als doppelt so schwer wie Alpakas. Bei beiden Tieren liegt die durchschnittliche Nutzungsdauer bei 12 Jahren (Gauly, 2010). Dies bedeutet, dass ca. 8 % der Muttertiere abgehen und sogleich mit neuen Zuchtfohlen ersetzt werden. Abgehende Muttertiere in kg LG (Lebendgewicht) errechnen sich durch die Multiplikation mit der Abgangs- respektive der Remontierungsrate und dem Lebendgewicht. Dies ergibt 12 kg LG bei den Lamas und 4.8 kg LG bei den Alpakas pro Jahr. Die Anzahl Fohlen pro Muttertier liegt bei Lamas mit 0.9 leicht höher als bei Alpakas mit 0.7. Diese Zahl teilt sich auf in den Anteil Verluste, Zuchtfohlen und Fleischproduktion. Es muss mit Tierverlusten von 3 bis 5 % gerechnet werden (Hengrave Burri, 2005). Jungtiere, die nicht für die eigene Nachzucht verwendet werden, werden als Zuchttiere verkauft. Der Anteil der Jungtiere pro Muttertier, die für die Fleischproduktion genutzt werden, liegt bei 0.7 (Lamas) bzw. 0.5 (Alpakas). Multipliziert mit dem Lebendgewicht der Jungtiere ergibt dies 91 kg LG bei Lamas und 30 kg LG bei Alpakas pro Muttertier. Bei beiden Tierarten liegt die Schlachtausbeute bei 60 %, die Fleischausbeute bei 65 %. Durchschnittlich werden pro 30 Muttertiere drei Zuchthengste gehalten, welche eine Nutzungsdauer von drei Jahren haben. Der Anteil an verkauften Hengsten, bezogen auf Muttertier und Jahr, liegt jeweils bei 3 %. Da die Wollmenge je nach Tier sehr unterschiedlich ist,

wird von rund 2 kg Wolle pro Tier und Jahr ausgegangen, wobei nur die Alpakawolle mehrheitlich weiterverarbeitet wird.

Der Deckungsbeitrag

Classic-Lamas unterscheiden sich in diesen Berechnungen neben ihrem höheren Gewicht hauptsächlich in der Qualität bzw. dem Erlös aus der Wolle und der Anzahl Jungtiere pro Jahr von den Alpakas. Hier ergab sich beim Alpaka mit 0.7 Jungtieren pro Muttertier ein tieferer Wert. Die Reproduktionszahl fällt von daher tiefer aus. Die Leistungen (Erlös) ergeben sich aus dem verkauften Fleisch von Jung- und Alttieren, dem Verkauf von Zuchtfohlen und der Wolle. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass die abgehenden Hengste als Fleischlieferanten genutzt werden. Der Teil an verkaufsfertigem Fleisch errechnet sich aus dem Anteil kg LG pro Muttertier und Jahr multipliziert mit der Schlacht- und Fleischausbeute. Mit einem Preis von CHF 35.-/kg Fleisch ergibt dies bei den Lamas insgesamt CHF 1471.- Erlös aus dem Fleischverkauf und CHF 300.- aus dem Verkauf von Zuchttieren. Die anfallende Wolle bringt gesamthaft lediglich einen Erlös von CHF 2.- pro Tier ein. Bei den Alpakas sind dies CHF 502.- aus dem Fleisch-, CHF 340.- aus dem Zuchttier- und CHF 20.- aus dem Wollverkauf.

Die Kosten ergeben sich aus dem Zukauf von Hengsten (CHF 135.-), dem Ergänzungsfutter (Lamas CHF 32.- / Alpakas CHF 27.-), der Tiergesundheit (CHF 20 Fr.-) und übrigen Kosten (CHF 12.-). Vergleicht man die Leistungen mit diesen Kosten, so ergibt dies einen vergleichbaren Deckungsbeitrag von CHF 1573.- bei Lamas und CHF 667.- bei den Alpakas. Der DB-Betriebsplanung ergibt sich aus dem vergleichbaren DB abzüglich Lohnarbeiten wie Scheren und der Fleischverarbeitung. Für Schlachten, Ausbeinen und Vakuumverpacken geht man von einem Ansatz von CHF 5.40/kg Fleisch aus. Abzüglich dieser Arbeiten ergibt dies einen DB-Betriebsplanung von CHF 1321.- bei den Lamas und CHF 540.- für Alpakas. In einem weiteren Schritt werden die Kosten für Einstreu abgezogen. Das betriebseigene Grundfutter wie Heu und Gras fließt nicht in den DB mit ein.

Am Ende ergibt sich ein DB von CHF 1315.- für Lamas und CHF 534.- für Alpakas.

Bei Lamas und Alpakas wurden die gleichen Ansätze für die Arbeitskraftstunden gewählt. Sie belaufen sich auf total 27 Stunden pro Tier und Jahr. Davon sind 14 Stunden Stallarbeit, 3 Stunden Betriebsführungs- und Sonderarbeiten und 10 Stunden werden der Vermarktung zugeschrieben.

Interpretation der Wirtschaftlichkeit

Im Vergleich zur Fleischschafhaltung mit Direktvermarktung sind die Deckungsbeiträge (DB) für Neuweltkameliden relativ gross. Bei Schafen liegt der vergleichbare DB für ein Muttertier bei CHF 493.- (AGRIDEA, 2020). Tatsächlich liefern Lamas bei höherem Lebendgewicht mehr Fleisch als ein Schaf. Man darf jedoch nicht ausser Acht lassen, dass es sich insbesondere beim Fleisch von Neuweltkameliden um ein Nischenprodukt handelt. Die Nachfrage ist beschränkt und Absatzkanäle über einen Markt fehlen. Die Vermarktung der Produkte ist mit Zeitaufwand und Knowhow verbunden, was nicht über den DB abgeglichen wird. Ob nun mit einem Lama bei vergleichbarem Deckungsbeitrag von CHF 1573.- tatsächlich ein grösserer Gewinn eingebracht wird als mit einem Alpaka mit CHF 667.-, kann eher schwer beurteilt werden. Laut Auskunft verschiedener Betriebe ist die Lama- oder Alpakahaltung als alleinige Produktionsform kaum rentabel. Oft sind die Betriebe auf zusätzliche Standbeine, z. B. den Agrotourismus, angewiesen. Auch aus dem Verkauf der Wolle können kaum Erlöse erzielt werden, wenn die Scher- und Verarbeitungskosten abzugelten sind.

Im Gegensatz zu Fleisch und Wolle ist der Verkauf von Zuchttieren weitaus interessanter. Für gute Zuchttiere werden hohe Preise bezahlt und mit dem Verkauf sind keine weiteren Aufwände für die Vermarktung verbunden. Einige Leistungen von Neuweltkameliden ausserhalb der Landwirtschaft können bisher noch ungenügend monetär bewertet werden (Landschaftspflege, Herdenschutz). Neben den landwirtschaftlichen Produktionsformen kann das Trekking ein interessanter Nebenverdienst sein. Dies verlangt aber Professionalität und muss auch entsprechend vermarktet werden, was nicht jedermanns Sache ist. Neuweltkameliden eignen sich auch dann für einen Betrieb, wenn Weideland extensiv bewirtschaftet werden soll. Die Lage oder der Anteil an Hang- und Steillagen können hinsichtlich Direktzahlungen ökonomisch interessant sein. Es kann sich lohnen, die Ausrichtung des Betriebs zu überdenken und allfällige, bisher noch nicht genutzte Direktzahlungsprogramme ebenfalls zu nutzen.

Literatur

AGRIDEA (2020): Deckungsbeiträge Ausgabe 2020. Lindau-Eschikon

Agristat (2020): Bestand Neuweltkameliden in der Schweizer Landwirtschaft; Agristat Brugg

Gauly, M. (2010): Fachartikel Neuweltkamelidenhaltung-Nutzung. KTBL

Hengrave Burri, I., Martig, J., Sager, H., Liesegang, A., Meylan, M. (2005): Neuweltkameliden in der Schweiz. I. Population, Haltung und Gesundheitsprobleme. Schweizer Archiv für *Tierheilkunde*, **147** (8): 325-334

Moriz, C. (2007): Arbeitszeitbedarf für die Betriebsführung in der Landwirtschaft. Tänikon Forschungsanstalt Agroscope; ART-Schriftenreihe 6).

Assessing feed efficiency through blood and milk nitrogen isotope enrichment in grazing dairy cows

T. Haak^{1,2}, A. Mürger¹, K.-H. Südekum² and F. Schori¹

¹Agroscope, Ruminant Research Group, Tioleyre 4, CH-1725 Posieux, Switzerland

²University of Bonn, Institute of Animal Science, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn, Germany

Contact: Thorsten Haak, thorsten.haak@agroscope.admin.ch

Introduction

Achieving greater feed efficiency is a possible approach to improve sustainability of dairy production. Nevertheless, genetic selection for feed efficiency especially on pasture is hindered by the high costs and labour associated with individual feed intake measurements. In recent years, there has been an increased interest in finding biomarkers for the prediction and evaluation of feed efficiency. A promising predictor of feed efficiency is the use of N isotopic fractionation (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2015). As the ¹⁵N natural abundance in animal proteins is higher than in the diet consumed, the variations in the isotopic N fractionation are correlated with feed efficiency (Cheng *et al.*, 2013). The study investigated whether isotope N fraction of milk and blood can be utilised as an indicator of feed efficiency in grazing dairy cows.

Materials and Methods

The study comprised two mid- and one late-lactation experimental periods during 2 years, each entailed a 21-day adaption period and a 7-day measurement period. Per experimental period twenty-eight lactating dairy cows, approximately half of them primiparous, were grazed on established rotational pasture. Furthermore, Swiss Fleckvieh (FV) and Swiss Holstein (HO) cows were paired according to parity and calving date.

Individual herbage intake was estimated during grazing with the n-alkane double indicator technique (Rombach *et al.*, 2019), and if concentrate was supplemented, it was registered individually through the automatic feeding stations. Based on the individual cow's dry matter intake, and milk yield as well as composition; nitrogen use efficiency (NUE), feed conversion efficiency (FCE) and residual intake (RI) expressed as; effective minus required total intake of dry matter (RFI), energy (REI) and nitrogen (RNI) were computed. The natural relative abundance ($\delta^{15}\text{N}$) in animal proteins and diet was measured by isotopic ratio mass spectrometry against standard atmospheric N₂ following total

combustion in an elemental analyser of the samples. The $\delta^{15}\text{N}$ was then calculated as follows: $\delta^{15}\text{N} = ((R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1) \times 1000$, where R represents the ratio between heavy and light isotopes in the sample and the standard. The N isotopic fraction ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$) was defined as the difference $\delta^{15}\text{N}_{\text{animal}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{diet}}$. The recorded data (milk yield and composition, body weight and $\delta^{15}\text{N}$ of diet) were averaged per cow and period, as herbage intake was estimated per measurement period. One blood sample and one pooled milk sample per measurement period were used to determine $\delta^{15}\text{N}$. The data was statistically analysed with mixed linear regression with breed and measurement period as fixed factors and cow as random effect in R (R Core Team, 2021).

Results and Discussion

As animal tissues are generally ^{15}N enriched relative to their diet (DeNiro and Epstein, 1981), the $\delta^{15}\text{N}$ in blood (4.73 ‰, standard deviation (SD) = 0.21) and in milk (4.71 ‰, SD = 0.33) were higher than in the diet (1.41 ‰, SD = 0.71). The $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ for blood and milk was 3.32 ‰ (SD = 0.68) and 3.30 ‰ (SD = 0.55), respectively. The $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ was similar to values of Cheng *et al.* (2013) with no urea supplementation, although the $\delta^{15}\text{N}$ in blood, milk and in the diet was much higher.

The $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ was negatively correlated with RI (R^2 : 0.11-0.62), with the strongest correlation found between $\Delta^{15}\text{N}_{\text{milk-diet}}$ and RNI ($R^2 = 0.62$). The NUE and FCE was positively related (R^2 : 0.33-0.58) to $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ which is consistent with findings for milk and blood from Cheng *et al.* (2011) and Wheadon *et al.* (2014). The strongest correlation was found for $\Delta^{15}\text{N}_{\text{milk-diet}}$ and NUE ($R^2 = 0.58$). Significant differences were observed for breeds in RNI ($P = 0.012$) and NUE ($P = 0.009$). According to Cantalapiedra-Hijar *et al.* (2015) most of the $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ is of metabolic origin (estimated at about 80%), with very little direct impact of the overall digestion process on the relationship between $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ and feed efficiency. However, the relationship between $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ and the feed efficiencies` NUE and RNI may be a biased prediction for animals close to zero, or in negative N balance, when part of protein originate from the body reserves (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2018).

Conclusion

The $\Delta^{15}\text{N}_{\text{animal-diet}}$ could predict feed efficiency variations across grazing dairy cows kept under similar conditions. The $\Delta^{15}\text{N}$ from milk and blood was a moderately good predictor of FCE and NUE (R^2 : 0.31 – 0.59), and RI values (R^2 : 0.12-0.61). Further exploration of this relationship across a larger number of animals and different conditions is necessary to determine its predictive robustness.

References

- Cantalapiedra-Hijar, G., Fouillet, H., Huneau, J. F., Fanchone, A., Doreau, M., Nozière, P. and Ortigues-Marty, I. (2015): Relationship between efficiency of nitrogen utilization and isotopic nitrogen fractionation in dairy cows: Contribution of digestion v. metabolism? *Animal* **10**: 221-229
- Cantalapiedra-Hijar, G., Dewhurst, R., Cheng, L., Cabrita, A., Fonseca, A., Nozière, P., Ortigues-Marty, I. (2018): Nitrogen isotopic fractionation as a biomarker for nitrogen use efficiency in ruminants: A meta-analysis. *Animal* **12**: 1827-1837
- Cheng, L., Kim, E.J., Merry, R.J. and Dewhurst, R.J. (2011): Nitrogen partitioning and isotopic fractionation in dairy cows consuming diets based on a range of contrasting forages. *Journal of Dairy Science* **94**: 2031-2041
- Cheng, L., Sheahan, A.J., Gibbs, S.J., Rius, A.G., Kay, J.K., Meier, S., Edwards, R., Dewhurst, R.J. and Roche, J.R. (2013): Technical note: nitrogen isotopic fractionation can be used to predict nitrogen-use efficiency in dairy cows fed temperate pasture. *Journal of Animal Science* **91**: 5785-5788
- DeNiro, M.J. and Epstein, S. (1981): Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**: 341-351
- R Core Team (2021): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rombach M., Südekum K.-H., Münger A. and Schori F. (2019): Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioral, environmental, and feed variables. *Journal of Dairy Science* **102**: 2985-2999
- Wheadon, N.M., McGee, M., Edwards, G.R. and Dewhurst, R.J. (2014): Plasma nitrogen isotopic fractionation and feed efficiency in growing beef heifers. *British Journal of Nutrition* **111**: 1705-1711.

Study of potentially damaging behaviour of fattening pigs – relationship with protein efficiency

L. Roch^{1,2} and C. Kasper²

¹Animal Welfare Division, Vetsuisse Bern, Switzerland

²Animal GenoPhenomics Group, Agroscope Posieux, Switzerland

Contact: Lea Roch, lea.roch@students.unibe.ch

Introduction

Protein efficiency is the ratio between the mass of protein ingested and the mass of protein in the carcass. It is directly related to the environmental impact of pig farming. A higher protein efficiency would reduce this impact by diminishing the excretion of nitrogen compounds and thus the necessary amount of amino acids in the feed while maintaining optimal growth. However, potentially consequences of the selection for increased protein efficiency on the welfare of pigs are so far unknown. It has been shown that pig selected for increased lean mass perform more tail-biting behaviours (Breuer et al., 2005). Potentially damaging behaviours that could affect animal welfare negatively such as biting have a multifactorial origin. Environment, enrichment, nutrition and performance traits are key components on this subject. The behaviours such as exploration and rooting are desirable but need an adequate environmental enrichment, such as straw bedding, to help prevent pigs from redirecting potentially damaging behaviours onto conspecifics (Petersen et al., 1995; Beattie et al., 2000). Striking a balance between animal welfare, environmental benefits and economic efficiency is the main objective. The aim of this work was to observe potentially damaging as well as rooting behaviours in pigs under protein restriction in a straw-enriched environment and analyse the possible effects of protein efficiency on those behaviours.

Materials and Methods

The pigs were reared in the Agroscope Posieux piggery and received feed that contained 80% of protein of the current Swiss recommendations. In the main study, 95 pigs, aged between 98 and 115 days, were observed. They were raised in two farrowing series, one in August 2020 (series 1) and one in December 2020 (series 2). After weaning, the pigs were regrouped into grower-finisher pens with a maximum of 24 pigs per pen, which were equipped with automated feeders with an individual pig recognition system. Each pen was covered with a thin layer of straw on the concrete floor and included two mobile and two fixed straw baskets. Oral and nasal actions onto conspecifics such as biting, seizing (i.e. the opening and closing of the jaw onto a conspecific without exercising any force)

and nosing as well as rooting in the straw on the ground were recorded. Each individual observation lasted five minutes per pig and each pig was observed four times on different days. Protein efficiency was measured after slaughter as the amount of protein in the carcass in relation to the amount of ingested protein, using a dual-energy X-ray absorptiometry device (Kasper et al., 2020). A generalised linear model (GLM) with Poisson distribution was used to test the relationship between the counts of oral and nasal actions and protein efficiency. The model was adjusted with two covariates; sex (castrated males versus females) and series (1 versus 2). A Spearman correlation test was used for the duration of rooting in the straw on the ground because the data was continuous but not normally distributed.

Results

One of the 95 pigs observed in the main study died before the slaughter date. Therefore, the protein efficiency of 94 pigs was measured (0.36 ± 0.03). Pigs performed on average $6.50 (\pm 6.53)$ oral and nasal actions (biting, seizing and nosing) onto conspecifics in 20 minutes of focal observation. When only looking at the number of bites and seizing, these were very low, with an average of $0.44 (\pm 0.97)$ and $0.5 (\pm 0.91)$, respectively, per pig. A positive relationship was found between protein efficiency and the sum of oral and nasal actions performed onto conspecifics ($P = 0.015$). Thus, pigs with higher protein efficiency performed more oral and nasal actions onto conspecifics (Fig 1, left; Table 1). The mean duration of rooting in the straw-covered floor was 3 minutes and 28 seconds (± 2 minutes and 44 seconds). A positive correlation was shown for protein efficiency and straw-covered floor rooting ($\rho = 0.32$, $P = 0.002$; Fig. 1, right; Table 1).

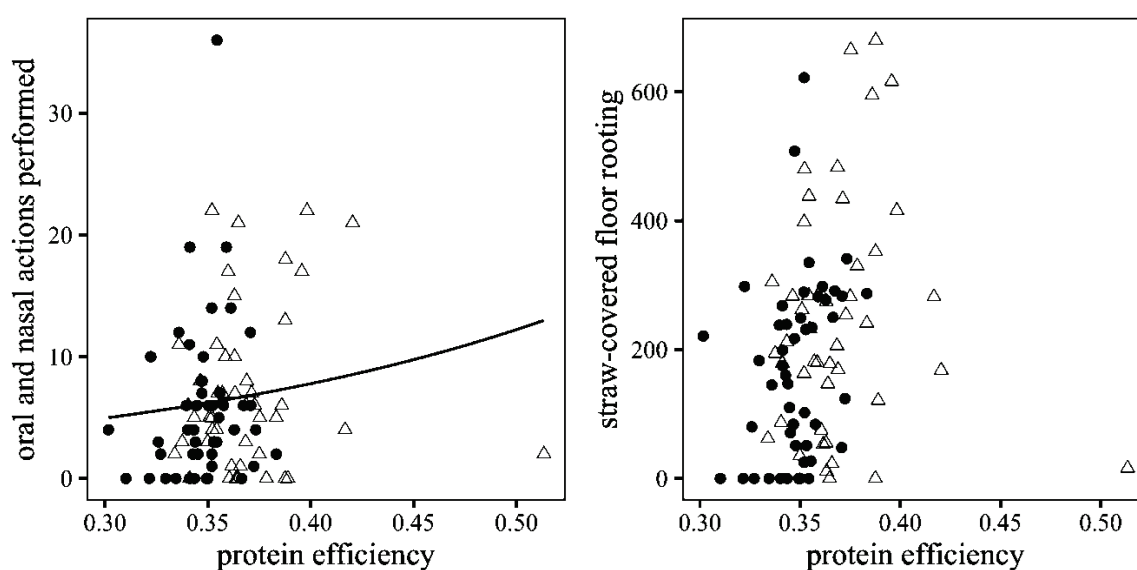


Figure 1: Relationship between protein efficiency and the sum of oral and nasal actions performed onto conspecifics with regression line from generalized linear model with Poisson distribution (left). Spearman correlation between protein efficiency and straw-covered floor rooting (right). Dots represent series 1, triangles series 2.

Table 2: Relationship between protein efficiency and oral and nasal actions performed onto conspecifics by regression with a generalized linear model with Poisson distribution. The dependent and independent variables as well as the estimate, the standard error and the P-value are presented.

Dependent variable	Independent variable and covariates	Estimate	Standard error	P-value
Oral and nasal actions performed onto conspecifics	Intercept	-8.22	6.98	0.239
	Protein eff.	3.63	1.49	0.018
	Males; females	0.07	0.08	0.369
	Series 2; 1	0.02	0.01	0.223

Conclusion

This is a preliminary study on the influences of protein efficiency on potentially damaging behaviour. The positive relationship between efficiency and behaviours such as oral and nasal actions performed onto conspecifics and rooting on the ground show the importance of providing pigs with adequate environmental enrichment. This is particularly crucial if the farm is to produce more protein-efficient pigs in the future.

References

- Breuer, K., Sutcliffe, M.E.M., Mercer, J.T., Rance, K.A., O'Connell, N.E., Sneddon, I.A., Edwards, S.A. (2005): Heritability of clinical tail-biting and its relation to performance traits, *Livest. Prod. Sci.* **93**: 87-94
- Petersen, V., Simonsen, H.B. et Lawson, L.G., (1995): The effect of environmental stimulation on the development of behaviour in pigs, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **45**: 215-224
- Beattie, V.E., O'Connell N.E., et Moss, B.W. (2000): Influence of environmental enrichment on the behaviour, performance and meat quality of domestic pigs, *Livest. Prod. Sci.*, **65**: 71-79
- Kasper, C., Schlegel, P., Ruiz-Ascacibar, I., Stoll, P., and Bee, G (2020): Accuracy of predicting chemical body composition of growing pigs using dual-energy X-ray absorptiometry, *bioRxiv*, ver. 4 peer-reviewed and recommended by PCI Animal Science.

Methanemissionen von Geflügel – eine Pilotstudie mit Broilern

M. Terranova¹, M. Kreuzer², S.L. Amelchanka¹, R. Jendly¹ und M. Clauss³

¹ETH Zurich, AgroVet-Strickhof, Eschikon 27, 8315 Lindau, Schweiz

²ETH Zurich, Institut für Agrarwissenschaften, Universitätsstrasse 2, 8092, Zürich, Schweiz

³Klinik für Zoo-, Heim- und Wildtiere, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, 8057 Zürich, Schweiz

Kontakt: Marcus Clauss, mclauss@vetclinics.uzh.ch

Allgemein wird davon ausgegangen, dass der Beitrag von Geflügel zur Emission von Treibhausgasen vernachlässigbar ist (IPCC, 2006). Es ist unklar, woher diese Einschätzung stammt. Es gibt nämlich dem Wissen der Autoren nach nur überraschend wenige Messungen in Respirationskammern. Diese erfolgten bei Broilern durch Hadorn and Wenk (1996ab) sowie Jørgensen et al. (1996), und die Methanemission lag jeweils unter der Nachweisgrenze. Bei anderen Vogelarten (incl. Gänsen und Truthühnern) waren hingegen in Respirationskammern die Methanemissionen messbar, und verschiedene Analysen von Kot oder Blinddarminhalt ergaben Hinweise auf relevante Methanemissionen durch Vögel (zusammengefasst in Clauss et al., 2020). Daneben wurde auch beim Broiler gezeigt, dass Methanproduktion im Blinddarm erst mit einem Alter von zwei Monaten einsetzt (Marounek und Rada, 1998), also altersabhängig ist, auch wenn Methanogene schon im Alter von wenigen Tagen nachgewiesen werden können (Saengkerdsut et al., 2007).

Um in einer Pilotstudie zu überprüfen, ob beim Haushuhn und speziell beim Broiler wirklich keine Methanemission detektiert werden können, führten wir Respirationsmessungen mit 12 Bio-Broilern (Hubbard I 657) durch, die am Beginn des Versuchs 65 Tage alt und 1.76 ± 0.28 kg schwer waren. Die Messungen erfolgten nach einer Adaptationsphase von 10 Tagen und der Erfassung der Futteraufnahme während 5 Tagen. Die Tiere wurden in sechs Paaren gehalten, von denen drei Paare (vor Respirationskammer: 2.16 ± 0.36 kg) ein Standardbroilerfutter erhielten (UFA 637 Poulet Mastfutter, Herzogbuchensee, CH; Futteraufnahme im 5-Tages-Durchschnitt: 106 ± 4 g Trockensubstanz (TS)/Tier und Tag). Drei Paare (2.09 ± 0.36 kg) erhielten dasselbe Futter mit einer Zulage von 30% Sojaextraktionsschrot (Futteraufnahme: 106 ± 16 g TS/Tier und Tag). Hintergrund für diese Fütterung war die Vermutung, dass bei Vögeln der retrograde Transport von Harnsäure aus der Kloake in die Blinddärme mit der Aufnahme an Protein ansteigt und somit eine vermehrte mikrobielle Fermentation in den Blinddärmen und damit Methanbildung auslösen könnte (zusammengefasst in Frei et al., 2017).

Die Broiler emittierten während des jeweils zweitägigen Aufenthaltes in den Respirationskammern 92 ± 16 ml Methan/Tier und Tag mit dem Standardfutter und 102 ± 23 ml Methan/Tier und Tag mit der Zulage von Sojaextraktionsschrot. Dies entsprach 0.87 ± 0.16 und 0.96 ± 0.15 ml/g TS-Aufnahme. Die CH₄:CO₂-Verhältnisse für die beiden Gruppen waren 0.0025 ± 0.0004 und 0.0029 ± 0.0007 .

Die Ergebnisse deuten einerseits nicht auf einen deutlichen Effekt der Proteinzulage hin. Andererseits belegen sie eine doch messbare Methanemission bei Broilern dieser Altersstufe, auch bei einem Futter, das vergleichbar arm an Rohfaser war. Im Vergleich mit anderen Vogel­daten, die mit faserreicherem Futter erhoben wurden (Methanemissionen von 1.7 bis 2.6 ml/g TS-Aufnahme; Clauss et al., 2020), hatten die Broiler niedrigere Emissionen. Wenn der Beitrag von Nutz­geflügel zu Methan-Emissionen genauer quantifiziert werden soll, sind Messungen in verschiedenen Altersstadien, bei Legehennen, bei anderem Mastgeflügel und üblicherweise eingesetzten Futtermitteln notwendig.

Literatur

Clauss, M., Frei, S., Hatt, J.-M., Kreuzer, M. (2020): Methane emissions of geese and turkeys fed pelleted lucerne. *Comp. Biochem. Physiol. A* **242**: 110651

Frei, S., Ortmann, S., Kreuzer, M., Hatt, J.-M., Clauss, M. (2017): Digesta retention patterns in geese and turkeys and deduced function of avian caeca. *Comp. Biochem. Physiol. A* **204**: 219-227

Hadorn, R., Wenk, C. (1996a): Effect of different sources of dietary fibre on nutrient and energy utilization in broilers. 1. Characterization of the diets, growth performance and nutrient utilization. *Arch. Geflügelkd.* **60**: 14-21

Hadorn, R., Wenk, C. (1996b): Effect of different sources of dietary fibre on nutrient and energy utilization in broilers. 2. Energy and N-balance as well as whole body composition. *Arch. Geflügelkd.* **60**: 22-29

IPCC (2006) Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use. Ch. 10. Emissions from Livestock and Manure Management. 10.1–10.87

Jørgensen, H., Zhao, X.-Q., Knudsen, K.E.B., Eggum, B.O. (1996) The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Br. J. Nutr.* **15**: 379-395

Marounek, M., Rada, V. (1998): Age effect on *in vitro* fermentation pattern and methane production in the caeca of chickens. *Physiol. Res.* **47**: 259-263

Saengkerdsab, S., Herrera, P., Woodward, C.L., Anderson, R.C., Nisbet, D.J., Ricke, S.C. (2007): Detection of methane and quantification of methanogenic archaea in faeces from young broiler chickens using real-time PCR. *Let. Appl. Microbiol.* **45**: 629-634.

Aus dieser Schriftenreihe liegt bereits vor:

- 42/2019 Mengen- und Spurenelemente: essentiell für Leistung und Tiergesundheit
41/2018 Zukunft der Tierernährung zwischen Effizienz und Konsumentenansprüchen
40/2017 Klimawandel und Nutztiere: eine wechselseitige Beeinflussung
39/2016 Umdenken in der Eiweissversorgung der Nutztiere
38/2015 Gesunde und leistungsfähige Nutztiere: Futter an Genotyp oder Genotyp an Futter anpassen?
37/2014 Brauchen Nutztiere Antibiotika? 15 Jahre AML-Verbot
36/2013 Sind hohe Leistungen „Bio-kompatibel“? Herausforderung für die Tierernährung
35/2012 Feed for Health
34/2011 Zukunftsträchtige Futtermittel und Zusatzstoffe
33/2010 Landwirtschaftliche und veterinärmedizinische Tierernährungsforschung im Verbund
32/2009 Nutztierernährung morgen: Gesunde Tiere – effiziente und nachhaltige Erzeugung – wertvolle Produkte
31/2009 Von der Billigmarke zur Spezialität: Beitrag der Tierernährung in der Labelproduktion
30/2008 Globalisierung und Klimawandel: Verändern sie die Tierernährung in der Schweiz?
29/2007 Futterbewertung im Umbruch?
28/2006 Tierernährungsforschung zwischen wissenschaftlichem Anspruch und praktischer Relevanz
27/2005 GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE, GGAA2005
26/2005 Fokus Verdauung – Schlüssel für eine effiziente Tierernährung
25/2004* Lipide in Fleisch, Milch und Ei – Herausforderung für die Tierernährung
24/2003* Gesunde Nutztiere – Heutiger Stellenwert der Futterzusatzstoffe in der Tierernährung
23/2002 Optimale Nutzung der Futterressourcen im Zusammenspiel von Berg- und Talgebiet
22/2002 Lebensqualität – Beiträge zur Gesundheitsförderung
21/2001 Vom Überangebot zum Defizit: Umgang mit den knappen Eiweissfuttermitteln
20/2000 Tierernährung in einer nachhaltigen Landwirtschaft
19/1999 Beitrag der Tierernährung zur Besonderheit der CH-Produkte
18/1998 Gesunde Nutztiere: Umdenken in der Tierernährung
17/1997 (M)ar(k)tgerechte Tierernährung
15f/1996 Fleisch-Milch-Eier: Qualitätsprodukte durch vielfältige Ernährung der Nutztiere
Sonderband/1996 Wieviel Landwirtschaft braucht der Mensch? Eine ungeschminkte Standortbestimmung
15/1995 Effizienz: Aspekte der Nährstoffverwertung beim wachsenden landwirtschaftlichen Nutztier
14/1995 Wieviel können - sollen unsere Nutztiere leisten?
13/1995 Zur Verdauungsphysiologie von Gänsen
12/1994 Verwendung von Nebenprodukten aus der Lebensmittelherstellung in der Tierernährung
11/1993 Enzymes in Animal Nutrition
10/1993 Importance of β -Carotene in Animal Nutrition /Folic Acid Requirements of Farm Animals
9/1992 Experimentelle Ergebnisse zur Ermittlung der Eiweissqualität von Nahrungs- und Futtermitteln
8/1991 Ascorbic Acid in Domestic Animals
7/1991 Energy Metabolism of Farm Animals
6/1991 Animal Nutrition and Human Health
5/1991 Schweinefleischqualität – Qualitätsschweinefleisch
4//1990 Aspects of Quantitative Animal Nutrition
3/1990 Enzyme in der Tierernährung
2/1989 Protein and Amino Acid Nutrition in Fish
1/1989 Verwertung von Nebenprodukten der Lebensmittelherstellung als Futtermittel
H/1988 Resultats Experimentaux sur la Physiologie Digestive et l'Absorption en Relation avec la Nutrition et le Metabolisme des Acides Amines
G/1988 Proteinbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere und Proteingehalt der Nahrung
F/1987 Folgen der Biotechnologie für die Tierproduktion, Ernährung und Gesundheit
E/1986 Experimentelle Ergebnisse aus der ernährungsphysiologischen und metabolischen Spurenelementforschung
D/1986 Fachtagung zur Würdigung des 70. Geburtstages von Prof. Dr. A. Schürch
C/1983 Die Versorgung von wachsenden Schweinen und Geflügel mit Protein und Energie
B/1980 Proteinversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere
A/1979 Fett als Futtermittel

ISBN 978-3-906466-43-4