

IDF Merkblatt 41_2024

Futtermittelzusatzstoffe: Reduzierung von Methanemissionen im Darm im Fokus

Einleitung

Die Hauptquelle der Methanemissionen (CH_4) von Wiederkäuern oder Rindern ist die enterale Fermentation; daher wurden verschiedene Futtermittelzusatzstoffe entwickelt oder werden derzeit auf ihr Potenzial zur Verringerung der enterischen CH_4 -Emissionen erforscht. Dieses Merkblatt gibt einen Überblick über die grundlegenden Hintergrundinformationen, aktuelle Forschung, Herausforderungen und zukünftige Forschungsrichtungen für Futtermittelzusatzstoffe, welche das Potenzial zur Reduktion der enteralen Emissionen haben.

Was sind Futtermittelzusatzstoffe?

Ein Futtermittelzusatzstoff ist eine Substanz, die der Grundnahrung von Tieren in der Regel in kleinen Mengen zugesetzt wird, um sie mit bestimmten Nährstoffen oder Stimulanzien anzureichern, ohne dass sie eine direkte Nährstoffquelle darstellt. Es ist in der Regel ein nicht-nutritives Produkt, das die Verwertung des Futters beeinflusst, das Produkt tierischen Ursprungs verbessert oder Produktionsleistung und Gesundheit der Tiere steigert.

Warum werden der Ration von Milchkühen Futtermittelzusatzstoffe zugesetzt?

Futtermittelzusatzstoffe helfen Kühen, mehr Futter aufzunehmen, es besser zu verdauen und die enthaltenen Nährstoffe besser im Darm zu absorbieren, ihren Stoffwechsel zu verändern und die Verdaulichkeit zu verbessern (Zhang et al., 2020; Hassan et al., 2020), was zu einer allgemeinen Verbesserung von Leistung und Effizienz führt (Pandey et al., 2019; Kholif et al., 2021). Darüber hinaus tragen sie dazu bei, die Kühe in der Übergangsphase von der peripartalen zur neonatalen Periode vor Stress zu schützen und damit ihre Gesundheit und Produktivität zu verbessern (Zhang et al., 2020; Lopez, 2023). Futtermittelzusatzstoffe haben sich auch als wirksam erwiesen zur Verhinderung einer Reihe von Stoffwechselstörungen wie Ketose (Mammi et al., 2021), Fettleber (Zhang et al., 2020), Azidose (Cavallini et al., 2022) und Milchfieber (Marin et al., 2020). Darüber hinaus erwies sich die Supplementierung mit bestimmten Futtermittelzusatzstoffen, neben effektiven Managementpraktiken, als vorbeugende Maßnahme gegen Mastitis, welche ein erhebliches finanzielles Problem für die Rentabilität von Milchviehbetrieben darstellt (Mushtaq et al., 2018). Einige Futtermittelzusatzstoffe werden zur Verringerung der enteralen CH_4 -Emissionen (Roque et al., 2021; Kebreab et al., 2023) und der Ammoniakemissionen aus der Gülle (Ti et al., 2019) und damit zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit eingesetzt.

Warum besteht ein wachsendes Interesse an Futtermittelzusatzstoffen zur Verringerung der Methanemissionen im Darm?

Die Modulation des Pansens mit Futtermittelzusatzstoffen ist ein zunehmend verbreiteter Ansatz zur Reduzierung von CH_4 -Emissionen. Die Wirkung von Futtermittelzusatzstoffen tritt sofort ein, im Gegensatz zu genetischen Verbesserungen, die hierfür einen langen Zeitraum der Zucht benötigen. Diese Futtermittelzusatzstoffe sind effektiv in der Reduzierung der CH_4 Emissionen und sind einfach zu handhaben. Es gibt mehrere Futtermittelzusatzstoffe, die Berichten zufolge das Potenzial zur Verringerung der enteralen CH_4 -Emissionen haben. In Bezug auf die Wirksamkeit hat Rotalge die höchste CH_4 -Reduktionsrate von 71 % (Machado et al., 2016), gefolgt von 3-Nitrooxypropanol (3-NOP) mit durchschnittlich 30 % (Hristov et al., 2015) und Nitrat mit 29 % (Jayanegara et al., 2011). Die Wirksamkeit

Dieses Dokument ist eine Übersetzung des IDF-Factsheets N° 41/2024 vom Verband der Deutschen Milchwirtschaft e.V. Nur die englische Originalversion wurde von der IDF genehmigt.

dieser Zusatzstoffe hängt in hohem Maße von der Dosis, der Futtermenge und -quelle sowie dem Fettanteil in der Ration der Milchkühe ab. Der in Meeresalgen enthaltene Wirkstoff Bromoform stört die CH₄-produzierenden Mikroorganismen im Verdauungssystem der Rinder, 3-NOP hemmt die Methanogenese, während Nitrat die Verfügbarkeit von Inputs (z.B. Wasserstoff) für die CH₄-Bildung reduziert. Darüber hinaus haben Nahrungsfette, Probiotika, Biokohle und Ionophore alle eine mäßige Wirksamkeit gezeigt und die CH₄-Emissionen um 13-27 % reduziert (Garcia et al., 2018). Die Wirksamkeit von Tanninen, Flavonoiden, Saponinen und ätherischen Ölen ergab sehr widersprüchliche Ergebnisse in Abhängigkeit von Quelle und Dosis.

Unterscheidet sich die Zusammensetzung der Milch bei Zugabe dieser Futtermittelzusatzstoffe?

Jüngsten Studien zufolge haben Algen-, 3-NOP- und Nitratsupplementierung wenig bis gar keine Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Milch, z. B. auf Fett, Eiweiß oder Fettsäuren (Muizelaar et al., 2021). Neuere Meta-Analysen ergaben, dass 3-NOP den Fett- und Eiweißgehalt der Milch erhöht oder tendenziell erhöht (Jayanegara et al., 2018; Kim et al., 2020). Dennoch hatte die Nitrat-Supplementierung keine Auswirkungen auf den Milchfett- und Gesamtfeststoffgehalt bei niedrigen Dosen (z.B. 0,11 g Nitrat/kg Körpergewicht), aber bei hohen Dosen verringerte sie Milchfett und Milchtrockenmasse und erhöhte den Laktosegehalt (Xie et al., 2022). In ähnlicher Weise reduzierte die Supplementierung von Algen den Milchfettgehalt bis zu einem gewissen Grad und führte zu Veränderungen in der Fettsäurezusammensetzung der Milch. Diese Veränderungen führten letztlich zu einem Anstieg der Omega-3-Fettsäuren, die als lebenswichtig für die menschliche Gesundheit gelten (Altomonte et al., 2018). Nur wenige Studien, darunter eine Kurzzeitstudie von Muizelaar et al. (2021), beobachteten keine Akkumulation von Bromoform (der aktiven Komponente in Algen) in tierischem Gewebe, sie wiesen jedoch Bromoform in Milch und Urin von Kühen nach, die mit Seetang gefüttert wurden. Daher sind bei Futtermittelzusatzstoffen weitere längerfristige Studien angebracht, die sich darauf konzentrieren, wie die aktiven Substanzen der Futtermittelzusatzstoffe in ihrer natürlichen oder modifizierten Form im Urin oder in der Milch der Tiere ausgeschieden werden und ob sie die Gesundheit von Tier und Mensch durch den Verzehr der entsprechenden tierischen Lebensmittel beeinflussen. Weitere Langzeitstudien werden erforderlich sein, um zu verstehen, wie sich Geschmacksrichtungen und Verarbeitungstechniken wie Kühlen oder Gefrieren, Erhitzen (Thermisierung, Pasteurisierung, UHT, Sterilisierung), Homogenisierung, Trennung, Fermentierung, Fraktionierung, Konzentration und Trocknung auf diese sekretierten Bestandteile in Milch und Milchprodukten auswirken und ob damit ein Gesundheitsrisiko verbunden ist.

Was sind die Herausforderungen bei der Einführung der vielversprechendsten Futtermittelzusatzstoffe?

Eine der Herausforderungen besteht darin, dass Futtermittelzusatzstoffe teuer sind. So ist beispielsweise die Ernte und Reinigung von Algen kostspielig, was für einige Erzeuger, insbesondere Kleinbauern eine Belastung darstellt. Die Herstellung im Labor wirft jedoch Fragen zur Nachhaltigkeit des Produktionssystems und die unangemessenen Kosten auf. Außerdem führte die Verwendung niedrigerer Dosen (z.B. 0,25 % als Trockenmasse) zu keiner Erhöhung der Milchproduktion. Vielmehr ging die Milchproduktion zurück, wenn die Dosierung 0,50 % überstieg (Stefenoni et al., 2021). Dies gibt Anlass zur Besorgnis über den Wert der Verwendung dieser Substanz. Auch die Tatsache, dass der Wirkstoff wenig bis keine Auswirkungen auf die Produktivität der Tiere bei steigenden Produktionskosten zeigte, entmutigt die Landwirte, diesen Zusatzstoff zu verwenden (Kebreab et al., 2023). Ein weiteres Problem ist, dass diese Zusatzstoffe nicht in allen Ländern zugelassen sind.

Seetang setzt beim Anbau Bromoform frei und baut Ozon ab. Ozon wiederum kann es in Bromat umwandeln, einen potenziell krebserregenden Stoff (Jia et al., 2022). Einige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verfütterung von Bromoform zudem zu Entzündungen im Pansen-Epithel führt, was sich negativ auf die Aufnahme auswirkt (Muizelaar et al., 2021). Außerdem erfordert es logistische Unterstützung bei der Handhabung und Lagerung, da die Wirksamkeit von der Menge des verfügbaren Bromoforms abhängt. Zur Beurteilung von Wirksamkeit und Praktikabilität dieses Zusatzstoffs sind daher Langzeitstudien erforderlich. Die Europäische Union und die Food and Drug Administration (FDA) haben 3-NOP bereits zugelassen, Länder wie Neuseeland jedoch noch nicht. Es müssen mehr Daten zur langfristigen Sicherheit von 3-NOP und seinen potenziellen Auswirkungen auf Tiergesundheit und Produktivität gesammelt werden (Clemens et al., 2020). Nitrat erfordert auch zusätzliche Forschung, die sich auf die Gesundheit und Sicherheit von Tieren und Menschen konzentriert, da hohe Dosen bei Tieren schwere Toxizität verursachen. Es besteht ein Bedarf an quantitativen Bewertungswerkzeugen für Futtermittelzusatzstoffe, um die Entscheidungen der Erzeuger, der Ernährungswissenschaftler oder anderer Akteure entlang der Wertschöpfungskette der Milchwirtschaft zu unterstützen. Dieses Bewertungsinstrument sollte Sicherheit, Wirksamkeit, Nutzen und Kompromisse berücksichtigen.

Worauf sollte sich die künftige Forschung über Futtermittelzusatzstoffe konzentrieren?

In einigen neueren Studien wurde über Wechselwirkungen zwischen Futtermittelzusatzstoffen und Futtermitteln berichtet. So hat der Einsatz von z. B. 3-NOP eine höhere Effizienz bei der Reduzierung von CH₄ bei der Fütterung von Maissilage als der von Grassilage (van Gastelen et al., 2022). Andere Studien zeigten einen Zielkonflikt zwischen der Leistung der Tiere und den Emissionsquellen auf, d. h. einige Futtermittelzusatzstoffe können die enterale CH₄-Emissionen reduzieren, verringern aber gleichzeitig Futteraufnahme und Effizienz oder die Verdaulichkeit der Nährstoffe (Uddin et al., 2021). Futtermittelzusatzstoffe können manchmal die Treibhausgasemissionen aus Gülle erhöhen, obwohl sie die enteralen Emissionen verringern (Uddin et al., 2022). Eine kürzlich durchgeführte Studie zeigte, dass Gülle von Kühen, die mit 3-NOP gefüttert wurden, das Bodenmikrobiom und die Enzymaktivitäten veränderte, wenn sie auf landwirtschaftliche Felder ausgebracht wurde (Lupwayi et al., 2023). Daher sollten sich weitere Studien 1) den Wechselwirkungen zwischen Futtermittelzusatzstoffen und Futtermitteln sowie einer 2) ganzheitlichen Bewertung von Futtermittelzusatzstoffen unter Verwendung von Ökobilanzen widmen, um Kompromisse zwischen den Emissionsquellen zu erfassen und irreführende Schlussfolgerungen zu vermeiden; 3) potenzielle Auswirkungen auf die Bodengesundheit durch Dünger, 4) die Ausscheidung von Zusatzstoffen, 5) die Frage, ob Zusatzstoffe bei der Verarbeitung und Herstellung von Milch und verschiedenen Milch- sowie Lebensmittelprodukten übertragen, verändert oder reaktiviert werden und letztlich 6) die kurz- und langfristige Gesundheit und Sicherheit von Tier und Mensch untersuchen.

Sicherheitsaspekte von Futtermittelzusatzstoffen

Die FAO (2023) hat kürzlich einen Artikel über Hemmstoffe veröffentlicht, welcher mögliche Einflüsse von Zusätzen in Kuhfutter zur Methanreduktion, auf die menschliche Gesundheit identifiziert. Auch der ständige Ausschuss für Rückstände und Kontaminanten des IDF identifizierte methanreduzierende Futtermittelzusatzstoffe als ein Beobachtungsfeld für mögliche Kontaminanten in Milch. Aufgrund der Diversität der Zusätze, welche bezüglich ihrer Effekte auf die enteralen CH₄-Emissionen untersucht wurden, erfordert die Betrachtung von Aspekten der Lebensmittelsicherheit eine Einzelfallbetrachtung um Risiken, Wissenslücken und Analysemöglichkeiten zu identifizieren.

Zusammenfassende Bemerkungen

Dieses Dokument ist eine Übersetzung des IDF-Factsheets N° 41/2024 vom Verband der Deutschen Milchwirtschaft e.V. Nur die englische Originalversion wurde von der IDF genehmigt.

Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich zusammenfassen, dass Futtermittelzusatzstoffe ein effektives Mittel zur Reduktion der enteralen Methanemission von Milchkühen sein könnten. Allerdings ist eine Überarbeitung der verfügbaren Zusatzstoffe erforderlich, damit Synergieeffekte zwischen Methanemissionen und Milchproduktion erreicht werden. Hier müssen die Gesundheit von Tier und Mensch sowie die langfristige Wirksamkeit verschiedener Zusatzstoffe unter verschiedenen Fütterungs- und Produktionsbedingungen adressiert werden.

Danksagung

Dieses Factsheet wurde von Md Rahat Ahmad Redoy (USA), Prafulla Salunke (USA) und Md Elias Uddin (USA) unter der Aufsicht des Ständigen Ausschusses für Wissenschaft und Technologie der Milchwirtschaft des IDF verfasst.

Haftungsausschluss

Das Factsheet stützt sich auf von Experten begutachtete Informationen und schließt Behauptungen von gewinnorientierten Unternehmen aus, sofern diese nicht von Experten begutachtet wurden. Es wird aktualisiert, wenn die Forschung voranschreitet und neue Veröffentlichungen erscheinen.

Referenzen

- Altomonte, I., Salari, F., Licitra, R., & Martini, M. (2018). Use of microalgae in ruminant nutrition and implications on milk quality—A review. *Livestock Science*, 214, 25-35.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.006>
- Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., ... & Yu, Z. (2022). Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(20), e2111294119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>
- Cavallini, D., Mammi, L. M., Palmonari, A., García-González, R., Chapman, J. D., McLean, D. J., & Formigoni, A. (2022). Effect of an immunomodulatory feed additive in mitigating the stress responses in lactating dairy cows to a high concentrate diet challenge. *Animals*, 12(16), 2129.
<https://doi.org/10.3390/ani12162129>
- Clemens, J., Kebreab, E., Dijkstra, J., & Dieho, K. (2020). Enteric methane mitigation technologies in ruminant livestock: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114456.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114456>
- EPA (2021). *Agriculture and Aquaculture: Food for Thought*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/snep/agriculture-and-aquaculture-food-thought>. • EPA. (2023). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021>
- FAO. (2023). *Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems*.
<https://doi.org/10.4060/cc9029en>

- Garcia D. T., Ferriani, B. A., Jacovaci, F. A., Cabreira, J. C., Bolson, D. C., & Pratti, D. J. L. (2018). Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *PLoS One*, 13(2), e0193313. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193313>
- Hassan, F. U., Arshad, M. A., Ebeid, H. M., Rehman, M. S. U., Khan, M. S., Shahid, S., & Yang, C. (2020). Phytogetic additives can modulate rumen microbiome to mediate fermentation kinetics and methanogenesis through exploiting diet–microbe interaction. *Frontiers in Veterinary Production Science*, 62(14), 1303–1317. <https://doi.org/10.1071/an20295>
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., . . . Zimmerman, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663-10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- Jayanegara, A., Sarwono, K. A., Kondo, M., Matsui, H., Ridla, M., Laconi, E. B., & Nahrowi. (2018). Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 17(3), 650-656. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1404945>
- Jayanegara, A., Wina, E., Soliva, C. R., Marquardt, S., Kreuzer, M., & Leiber, F. (2011). Dependence of forage quality and methanogenic potential of tropical plants on their phenolic fractions as determined by principal component analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 163(2-4), 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.009>
- Jia, Y., Quack, B., Kinley, R. D., Pisso, I., & Tegtmeier, S. (2022). Potential environmental impact of bromoform from Asparagopsis farming in Australia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(11), 7631-7646. <https://doi.org/10.5194/acp-22-7631-2022>
- Kebreab, E., Bannink, A., Pressman, E. M., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S., & Dijkstra, J. (2023). A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 106(2), 927-936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Kholif, A. E., Hassan, A. A., El Ashry, G. M., Bakr, M. H., El-Zaiat, H. M., Olafadehan, O. A., ... & Sallam, S. M. A. (2021). Phytogetic feed additives mixture enhances the lactational performance, feed utilization, and ruminal fermentation of Friesian cows. *Animal Biotechnology*, 32(6), 708-718. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1746322>
- Kim, H., Lee, H. G., Baek, Y. C., Lee, S., & Seo, J. (2020). The effects of dietary supplementation with 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions, rumen fermentation, and production performance in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(1), 31. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.1.31>
- Lopez, M. B. (2023). In-Vivo Assessment of a Direct-Fed Microbial on Lactation Performances, Blood Biomarkers, Ruminal Fermentation, and Microbial Abundance in Transition to Mid-Lactation Holstein Cows (Master's dissertation, South Dakota State University). <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/581/>
- Lupwayi, N. Z., Hao, X., Thomas, B. W., Stoeckli, J., Mesina, L., & Polo, R. O. (2023). Alteration of the soil microbiome and enzyme activities by forage-applied manure from cattle fed the methane inhibitor 3-nitrooxypropanol supplement. *Applied Soil Ecology*, 183, 104765. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104765>

- Lynch J, Cain M, Pierrehumbert R, Allen M. (2020). Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. *Environ Res Lett.* ;15(4):044023.: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7e>.
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., and Krishnapillai, M. 2020. "Food security," in *Climate Change Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertifica-*
- Muizelaar, W., Groot, M., van Duinkerken, G., Peters, R., & Dijkstra, J. (2021). Safety and Transfer Study: Transfer of Bromoform Present in *Asparagopsis taxiformis* to Milk and Urine of Lactating Dairy Cows. *Foods*, 10(3), 584. <https://doi.org/10.3390/foods10030584>
- Mushtaq, S., Shah, A. M., Shah, A., Lone, S. A., Hussain, A., Hassan, Q. P., & Ali, M. N. (2018). Bovine mastitis: An appraisal of its alternative herbal cure. *Microbial pathogenesis*, 114, 357-361. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.12.024>
- Pandey, A.K., Kumar, P., Saxena, M.J. (2019). Feed Additives in Animal Health. In: Gupta, R., Srivastava, A., Lall, R. (eds) *Nutraceuticals in Veterinary Medicine*. pp 345–362. Springer Publishing, NY, USA. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04624-8_23
- Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R. D., de Nys, R., Duarte, T. L., Yang, X., & Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLOS ONE*, 16(3), e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Stefanoni, H. A., Räisänen, S. E., Cueva, S. F., Wasson, D. E., Lage, C. F. A., Melgar, A., ... & Hristov, A. N. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4157-4173. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19686>
- Ti, C., Xia, L., Chang, S. X., & Yan, X. (2019). Potential for mitigating global agricultural ammonia emission: a meta-analysis. *Environmental Pollution*, 245, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.124>
- Uddin, M. E., Aguirre-Villegas, H. A., Larson, R. A., & Wattiaux, M. A. (2021). Carbon footprint of milk from Holstein and Jersey cows fed low or high forage diet with alfalfa silage or corn silage as the main forage source. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126720>
- Uddin, M. E., Aguirre-Villegas, H. A., Larson, R. A., & Wattiaux, M. A. (2021). Carbon footprint of milk from Holstein and Jersey cows fed low or high forage diet with alfalfa silage or corn silage as the main forage source. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126720>
- van Gastelen, S., Dijkstra, J., Heck, J. M., Kindermann, M., Klop, A., de Mol, R., ... & Bannink, A. (2022). Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 4064-4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>
- Xie, F., Tang, Z., Liang, X., Wen, C., Li, M., Guo, Y., ... & Yang, C. (2022). Sodium nitrate has no detrimental effect on milk fatty acid profile and rumen bacterial population in water buffaloes. *AMB Express*, 12(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01350-9>
- Zhang, F., Nan, X., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2020). Research on the applications of calcium propionate in dairy cows: A review. *Animals*, 10(8), 1336. <https://doi.org/10.3390/ani10081336>



GERMANY