

Manfaat *Feed Additives* pada Ruminansia: Ulasan Singkat

Benefits of Feed Additives for Ruminants: A Brief Review

Yanuartono¹, Indarjulianto Soedarmanto¹, & Alsi Dara Paryuni^{1*}

¹ Departemen Ilmu Penyakit Dalam, Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

JL. Fauna no. 2, Karangmalang, Depok, Sleman. 55281

*Corresponding author: alsidara94@mail.ugm.ac.id

• Diterima: 28 Mei 2024 • Direvisi: 15 Februari 2025 • Disetujui: 26 Februari 2025

ABSTRAK. Seiring dengan meningkatnya permintaan produk hewani, maka kebutuhan pakan ruminansia juga semakin meningkat. Pemenuhan kebutuhan pakan bertujuan untuk menghasilkan produk hewan yang lebih baik, memanfaatkan sumber daya pakan yang tersedia secara efisien, dan memaksimalkan keuntungan peternak. Salah satu upaya untuk memaksimalkan produk hewani adalah dengan menambahkan *feed additives* pada pakan. Bahan tambahan pakan merupakan bahan pakan non-nutrisi yang ditambahkan ke dalam campuran pakan untuk tujuan tertentu dan saat ini mempunyai peranan penting dalam berbagai bidang produksi ternak ruminansia. Berbagai bahan tambahan pakan telah digunakan di bidang peternakan untuk meningkatkan produksi ternak, meningkatkan efisiensi sumber daya pakan yang tersedia, dan memaksimalkan kinerja ternak ruminansia. Artikel singkat ini mengulas manfaat *feed additive* bagi ternak ruminansia.

Kata kunci: *Feed additives*, produksi ternak, non-nutrisi, ruminansia.

ABSTRACT. As demand for animal products increases, the need for ruminant feed also increases. Fulfilling feed needs aims at better animal production, efficiently utilizing available feed resources, and maximizing farmers' profits. One effort to maximize animal products is by adding feed additives to animal feed. Feed additives are non-nutrient feed ingredients added to feed mixtures for specific purposes and currently have an essential role in various fields of ruminant livestock production. Various feed additives have been used in the livestock sector to improve livestock production, increase the efficiency of available feed resources, and maximize the performance of ruminant livestock. This short article reviews the benefits of feed additives for ruminant livestock.

Keywords: *Feed additives*, livestock production, non-nutrient, ruminants.

PENDAHULUAN

Ruminansia merupakan salah satu ternak produksi yang berperan penting dalam ketahanan pangan di seluruh dunia. Peningkatan permintaan produk hewani selalu akan meningkat seiring dengan peningkatan populasi manusia sehingga kebutuhan akan pakan dan *feed additives* dalam pakan ruminansia juga meningkat. Peningkatan tersebut bertujuan untuk intensifikasi produksi ternak ruminansia yang akan berdampak pada perluasan basis komponen pakan dan *feed additives* untuk memenuhi peningkatan

kebutuhan nutrisi hewan (Tseten *et al.*, 2022; Caprarulo *et al.*, 2022). Nutrisi yang tercukupi diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pemeliharaan kesehatan, pertumbuhan dan laktasi sehingga dapat meningkatkan kinerja hewan ternak. *Feed additives* saat ini telah memiliki peran penting dalam berbagai bidang produksi ternak ruminansia (Saha & Pathak, 2021; Placha *et al.*, 2022).

Feed additives adalah bahan pakan non nutrien yang ditambahkan dalam campuran pakan untuk tujuan tertentu (Jet & Florencia, 2021; Bedasso, 2021). *Feed additives* dapat berupa antibiotika (Chattopadhyay, 2014; Letlhogonolo

et al., 2020), probiotik (Simon *et al.*, 2001; Vazquez, 2016), prebiotik (Ahmed *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019), enzim (Velázquez-De Lucio *et al.*, 2021), asam-asam organik (Chen *et al.*, 2024), fitobiotik (Buryakov *et al.*, 2023), antioksidan yang digunakan sebagai sumber vitamin, mineral dan antibiotika (Salami *et al.*, 2016; Corino & Rossi, 2021). Namun demikian, penggunaan antibiotika sebagai *feed additives* dalam pakan untuk pemacu pertumbuhan tampaknya mendorong munculnya strain yang resisten terhadap antibiotika (Dorantes-Iturbide *et al.*, 2022a). Yang & Carlson (2004) menambahkan residu antibiotika dapat mengkontaminasi lingkungan air dan tanah. Saat ini masalah resistensi bakteri terhadap antibiotika telah menjadi permasalahan yang serius di seluruh dunia. Oleh sebab itu, banyak negara di dunia telah melarang penggunaan antibiotika sebagai *feed additives* untuk hewan ternak.

Setiap *feed additives* memiliki mekanisme kerja yang berbeda-beda dalam meningkatkan kinerja ternak. *Feed additives* bekerja dengan berbagai macam cara seperti memengaruhi proses fisiologis, fungsi kekebalan tubuh, ketahanan terhadap stres, dan reproduksi melalui mekanisme peningkatan konsumsi, penyerapan, asimilasi nutrisi, peningkatan pertumbuhan dan kesehatan (Purwar *et al.*, 2017; Cavallini *et al.*, 2022). Namun demikian, dari berbagai jenis *feed additives* yang umum digunakan untuk ruminansia adalah Ionofor, *yeast*, enzim fibrolitik, minyak esensial dan tanin. Sampai saat ini, *feed additives* perannya menjadi sangat penting sebagai bahan tambahan karena memberikan manfaat yang pasti pada penampilan ternak ruminansia secara umum. Tulisan singkat ini bertujuan untuk mengulas peran *feed additives* dalam meningkatkan produk asal ternak ruminansia.

Jenis *feed additives*

Menurut EFSA (2023) *feed additives* dapat diklasifikasikan sebagai berikut : 1. *Technological additives* contohnya pengawet, antioksidan,

pengemulsi dan pengasam, 2. *Sensory additives* contohnya penambah rasa dan pewarna, 3. *Nutritional additives* contohnya vitamin, asam amino dan *trace elements*, 4. *Zootechnical additives* contohnya *digestibility enhancers* dan 5. koksidiostat dan histomonostats.

Feed additives dapat juga diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu aditif sintetik seperti antimikroba (Chattopadhyay, 2014; Dutta *et al.*, 2019), enzim (Velázquez-De Lucio *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2022), antioksidan (Decker *et al.*, 2012; Salami *et al.*, 2016), pewarna (Dey & Nagababu, 2022; Asemi-Esfahani *et al.*, 2022) dan *feed additives* alami seperti tanaman (Zeng *et al.*, 2015; Manuelian *et al.*, 2021) dan mikroorganisme (Aslamyiah *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2021a). Meskipun *feed additives* memiliki banyak macam dan variasi, namun demikian yang sering digunakan untuk ruminansia adalah ionofor, *yeast*, fibrolitik enzim, minyak esensial dan tanin.

Ionofor

Ionofor merupakan *feed additives* golongan antibiotika yang berasal dari produk fermentasi berbagai spesies *Streptomyces* dan jamur lainnya (Crossland *et al.*, 2017; Butaye *et al.*, 2003). Ionofor yang banyak digunakan dalam bidang kedokteran hewan antara lain *monensin* (Polizel *et al.*, 2021), *lasalocid* (Novilla, 1992), *salinomycin* (Câmara *et al.*, 2013), *narasin* (Pasqualino *et al.*, 2020), *maduramicin* (Chen *et al.*, 2014), *semduramicin* (Vincent *et al.*, 2012; EFSA, 2022), dan *laidlomycin propionate* (Vohra *et al.*, 2016). Ionofor digunakan dengan cara ditambahkan ke dalam pakan untuk meningkatkan efisiensi pakan dan pertambahan berat badan yang bekerja dengan cara mengubah pola fermentasi rumen (Russell & Strobel, 1989; Marques & Cooke, 2021).

Ionofor bekerja dengan mengganggu pergerakan transmembran dan keseimbangan ion intraseluler pada jenis bakteri dan protozoa tertentu yang terdapat dalam saluran pencernaan (McGuffey *et al.*, 2001). Ionofor

dapat digunakan pada semua ruminansia, baik ruminansia besar (Schären *et al.*, 2017; Marques *et al.*, 2021) maupun kecil (Edrington *et al.*, 2003; Muro *et al.*, 2018). Ionofor diberikan dalam jumlah yang sangat kecil dan disuplai melalui bahan pakan lain sebagai asupan pakan (Russel & Houlihan, 2003). Ionofor menurunkan kejadian koksidiosis (Noack *et al.*, 2019), kembung rumen (Kumar *et al.*, 2013), menurunkan akumulasi asam lemak rantai pendek dan kejadian asidosis pada ruminansia karena terjadi peningkatan fermentasi karbohidrat dalam pakan secara cepat (Duffield *et al.*, 2012; Marques & Cooke, 2021; Fenta *et al.*, 2023).

Yeast

Produk *feed additives* berbasis *yeast* telah lama dimanfaatkan dalam nutrisi ruminansia sebagai strategi untuk mencegah dampak negatif diet padat energi pada lingkungan rumen dan meningkatkan efisiensi rumen. *Yeast* (*Saccharomyces cerevisiae*) adalah sekelompok *feed additives* yang banyak digunakan dalam pakan ruminansia untuk meningkatkan kesehatan rumen dan kinerja hewan (Torres *et al.*, 2022). Berbagai teori telah dikemukakan untuk menjelaskan efek *yeast* (*Saccharomyces cerevisiae*) dalam perannya pada proses fermentasi dalam rumen (Fuller, 1989; Denev *et al.*, 2007; Luebbe *et al.*, 2013). Suplementasi *yeast* telah terbukti mampu memodulasi pH rumen, terutama jika dikombinasikan dengan diet konsentrat tinggi. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh kemampuan *yeast* untuk merangsang pertumbuhan bakteri dan protozoa dengan memanfaatkan laktat (Baker *et al.*, 2022).

Peningkatan jumlah bakteri merupakan efek yang paling nyata dari suplementasi *yeast* yang pada akhirnya mampu meningkatkan produktivitas ruminansia (Yang *et al.*, 2004; Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008). Hasil penelitian lain menunjukkan *yeast* telah terbukti memberikan nutrisi yang merangsang pertumbuhan mikroorganisme tertentu dalam rumen (Miller-Webster *et al.*, 2002; Mao *et al.*,

2003). Meskipun demikian, mekanisme peningkatan jumlah bakteri dalam rumen belum sepenuhnya dapat dijelaskan.

Enzim Fibrolitik

Hijauan merupakan sumber energi utama bagi hewan ruminansia karena selulosa, sebagai salah satu komponen utamanya, merupakan biopolimer paling melimpah di bumi (Hon 1994; Dynes *et al.*, 2003). Namun demikian, banyak spesies hijauan memiliki kualitas rendah sehingga mengakibatkan ketersediaan energi yang terbatas serta ekskresi nutrisi dalam jumlah besar (Moody *et al.*, 2007). Selain hal tersebut, pemanfaatan fraksi dinding sel dalam rumen yang tidak sempurna karena adanya ikatan kompleks akan menyebabkan pembatasan degradasi senyawa nutrisi (Mendoza *et al.*, 2014). Oleh karena itu perlu dicari opsi untuk mengoptimalkan penggunaan hijauan dalam sistem produksi ruminansia. Salah satu alternatifnya adalah dengan menggunakan enzim eksogen. Enzim fibrolitik eksogen, seperti selulase dan hemiselulase, dimanfaatkan dalam pakan untuk meningkatkan daya cerna serat yang ada dalam pakan seperti serat selulosa dan hemiselulosa yang banyak terkandung dalam bahan pakan seperti jerami dan silase (Cai *et al.*, 2010; Phakachod *et al.*, 2013). Respon terhadap penambahan enzim eksogen sebagai *feed additives* bervariasi menurut jenis hijauan, meskipun banyak disimpulkan oleh para peneliti bahwa terdapat interaksi enzim dengan hijauan, akan tetapi penelitian tersebut gagal menjelaskan mekanisme secara biologis (Márquez *et al.*, 2014).

Enzim eksogen yang digunakan sebagai *feed additives* pada hewan ruminansia sebagian besar berasal dari sumber jamur seperti *Trichoderma longibrachiatum* (Santos Magaço *et al.*, 2020), *Aspergillus niger* (Fitrihidajati & Ratnasari, 2017), dan *A. oryzae* (Hymes-Fecht & Casper, 2021) serta bakteri *Bacillus spp.*, (Hong & Wu, 2021) dan *Penicillium funiculosum* yang memiliki aktivitas selulosa dan hemiselulosa

tinggi (Mendoza *et al.*, 2014). Enzim eksogen tersebut dapat berbentuk cair atau butiran dengan campuran ransum total, jerami, silase, konsentrat, suplemen atau premix, dan bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi pada dinding sel (Anil *et al.*, 2022). Mendoza *et al.*, (2014) dan Yang *et al.* (2000) menambahkan enzim fibrolitik asal jamur atau bakteri mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi dari dinding sel, terdiri dari tiga fraksi yaitu dapat dicerna, berpotensi dicerna, dan tidak dapat dicerna dalam proporsi berbeda tergantung pada spesies hijauan.

Sampai saat ini beberapa metode aplikasi enzim yang banyak digunakan namun metode yang paling efektif masih belum dapat dipastikan (López-Aguirre *et al.*, 2016). Metode aplikasi enzim bervariasi mulai dari perlakuan awal pada pakan untuk jangka waktu tertentu sebelum pemberian pakan, seperti misalnya pembuatan silase, pemanenan hijauan hingga penerapan pada saat pemberian pakan seperti aplikasi pada jerami, konsentrat atau bahkan langsung ke rumen (Sutton *et al.*, 2003; Salem *et al.*, 2011; Sujani & Seresinhe, 2015; Taye & Etefa, 2020). Aktivitas enzim sangat bergantung pada jenis pakan sehingga spesifisitas enzim harus menjadi pertimbangan saat memilih metode aplikasinya (Beauchemin *et al.*, 1995; Hvelplund *et al.*, 2009; Pariza & Cook, 2010). Sampai saat ini, penelitian guna mendapatkan metode terbaik untuk aplikasi enzim yang bertujuan untuk meningkatkan produksi ternak ruminansia masih memiliki peluang yang sangat terbuka sehingga para peneliti diharapkan dapat memanfaatkan peluang tersebut.

Minyak essential

Minat terhadap penggunaan produk alami untuk memperbaiki kesehatan dan produktivitas ternak semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir (Dorantes-Iturbide, *et al.*, 2022b; Caroprese, *et al.*, 2023). El-Essawy *et al.*, (2021) menambahkan saat ini manajemen ternak modern telah beralih dari penggunaan

antibiotika dan ionofor dengan penggunaan bahan tambahan pakan alami, seperti minyak esensial untuk memodifikasi fermentasi rumen dan meningkatkan efisiensi pakan ruminansia. Minyak esensial merupakan produk turunan tumbuhan yang saat ini telah dimanfaatkan sebagai *feed additives* karena memiliki keterkaitan secara ekonomi yang cukup besar dalam industri peternakan (Nehme *et al.*, 2021; Wells *et al.*, 2024).

Minyak esensial yang diekstraksi dari tumbuhan diperoleh dengan destilasi dan terdiri dari campuran molekul berbobot rendah, seperti terpen (monoterpen dan seskuiterpen), terpenoid, keton, aldehida, dan alkohol (Masyita *et al.*, 2022; de Sousa *et al.*, 2023). Benchaar *et al.* (2008) menyatakan minyak esensial dapat ditemukan pada tanaman yang dapat dikonsumsi dan tanaman obat. Sebagian besar senyawa aromatik ini mudah menguap sehingga senyawa tersebut umumnya diekstraksi dengan destilasi uap atau ekstraksi pelarut (Saadoun *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2021). Minyak esensial dapat diekstraksi dari berbagai bagian tanaman, termasuk daun, bunga, batang, biji, akar, dan kulit kayu (Butnariu & Sarac, 2018; Ratika & Singh, 2018; Ramdani *et al.*, 2023).

Banyak penelitian yang menunjukkan metabolit bioaktif minyak esensial memiliki beragam efek biologis, seperti antimikroba (Bismarck *et al.*, 2022), antiinflamasi (Caprioli *et al.* 2019), antioksidan (Chen *et al.*, 2023), dan antiparasit (Sales *et al.*, 2018). Penelitian manfaat minyak esensial sebagai *feed additives* lebih banyak dilakukan pada hewan non ruminansia, sehingga informasi mengenai dampak minyak esensial pada hewan ruminansia masih terbatas jika dibandingkan pada non ruminansia terutama babi dan unggas (Omonijo *et al.*, 2018). Namun terdapat bukti minyak esensial mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi dan asupan nutrisi pada ruminansia (Dorantes-Iturbide *et al.*, 2022a; Wells, 2023). Hasil penelitian menunjukkan beberapa minyak esensial dosis sedang dalam pakan dapat

meningkatkan produksi asam lemak volatil dan metabolisme protein pada ruminansia (Yang & He, 2016; Cobellis *et al.*, 2016) sedangkan pada dosis tinggi, beberapa minyak esensial dapat menurunkan produksi metana (Tekeli *et al.*, 2017; Günal *et al.*, 2017). Dengan banyaknya bukti minyak esensial bermanfaat bagi produktivitas ruminansia maka saat ini penelitian tentang manfaat minyak esensial pada ruminansia perlu lebih ditingkatkan.

Tannin

Sistem peternakan ruminansia secara ekstensif pada umumnya memunculkan ketidakseimbangan pola makan sepanjang tahun, karena sistem tersebut sangat bergantung pada kondisi iklim (Cabiddu *et al.*, 2019; Mlambo & Mnisi, 2019). Tanin merupakan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman sebagai mekanisme pertahanan terhadap herbivora (Divekar *et al.*, 2022). Banyak hijauan dan produk sampingan pertanian pakan ruminansia secara alami kaya akan tanin (Addisu, 2016; Gerlach *et al.*, 2018). Salah satu strategi untuk mengatasi permasalahan ketidakseimbangan pola makan tersebut adalah memanfaatkan tanin pada tanaman sebagai pemacu pertumbuhan dan kesehatan ruminansia (Huang *et al.*, 2018; Tong *et al.*, 2022). Metode pemberian tanin dapat berupa penambahan bentuk ekstrak ke dalam pakan atau pemberian secara langsung hijauan yang memiliki kandungan tanin yang cukup tinggi. Namun demikian perlu dicermati karena dalam beberapa hasil penelitian pemberian tanin dalam dosis tinggi akan berdampak negatif pada ternak ruminansia. Oleh sebab itu, masih diperlukan penelitian dan evaluasi yang lebih mendalam terhadap pemanfaatan tanin sebagai *feed additives* pada ruminansia.

Potensi tanin sebagai *feed additives* ruminansia telah dimanfaatkan secara luas dalam beberapa tahun terakhir karena berdampak positif dalam memodulasi kinerja dan kesehatan ruminansia serta mengurangi emisi metana (Jayanegara *et al.*, 2012; Henke

et al., 2017; Fonseca *et al.*, 2023). Hasil penelitian menunjukkan ikatan tanin dengan protein mampu memengaruhi biohidrogenasi rumen dan metabolisme Nitrogen (Farha *et al.*, 2020; Menci *et al.*, 2021; da Silva Aguiar *et al.*, 2023). Sebagai metabolit sekunder, tannin akan berikatan dengan protein, sehingga tidak dapat tercerna dalam rumen. Ikatan tanin dengan protein tersebut memberikan dampak positif pada pencernaan protein ruminansia karena tidak dapat terurai oleh mikroorganisme di dalam rumen (Kelln *et al.*, 2021; Fonseca *et al.*, 2023; Loregian *et al.*, 2023). Menurut Avila *et al.* (2020), struktur molekul tanin mampu memodulasi fermentasi rumen dengan cara berikatan dengan protein melalui ikatan hidrogen dan membentuk kompleks tanin-protein, sehingga memengaruhi degradasi protein dalam rumen. Ikatan tanin-protein yang terbentuk dalam rumen tersebut stabil pada lingkungan pH normal dan tahan terhadap degradasi mikroba rumen, namun terdisosiasi pada lingkungan pH rendah di abomasum (Makkar, 2003). Lebih lanjut, kompleks protein tersebut menuju usus halus untuk kemudian diabsorpsi sebagai sumber protein yang dibutuhkan pada tahap fisiologis tertentu seperti awal laktasi atau ketika kualitas pakan terbaik tidak tercukupi (Waghorn *et al.*, 1990). Hasil penelitian tanin sebagai *feed additives* masih perlu diperdalam sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam usaha meningkatkan produktivitas ternak ruminansia besar maupun kecil.

Manfaat *feed additives* untuk ruminansia

Sampai saat ini berbagai jenis *feed additives* telah ditambahkan ke dalam pakan ruminansia (Patra, 2012). *Feed additives* yang sering digunakan untuk ruminansia seperti Ionofor, *yeast*, enzim fibrolitik, minyak esensial dan tanin memiliki manfaat yang besar untuk meningkatkan produksi. Meskipun demikian, selain memiliki manfaat yang besar, Ionofor sebagai salah satu *feed additives* diketahui memiliki dampak negatif karena termasuk

dalam kategori golongan antibiotika. Di Eropa, penggunaan antibiotika ionofor sebagai bahan tambahan pakan dan pemacu pertumbuhan pada pakan telah dilarang sejak tahun 2006. Penggunaan berlebihan Ionofor untuk meningkatkan produksi ruminansia dapat menyebabkan semakin meningkatnya residu antibiotika pada daging, susu dan kotoran ternak yang kemungkinan dapat mengakibatkan terjadinya penularan bakteri resisten antibiotika pada manusia dan lingkungan (Busch *et al.*, 2020; Ghimpețeanu *et al.*, 2022).

Strategi *Farm to Fork* yang merupakan pendekatan baru dari *European Green Deal* (European Commission, 2020; Schebesta & Candel, 2020; Almeida *et al.*, 2023), bertujuan untuk mendorong sistem pangan Eropa menuju sistem pangan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca global dan hilangnya keanekaragaman hayati, memastikan keamanan pangan, dan menyediakan akses terhadap pangan yang cukup, aman, bergizi, dan berkelanjutan (WHO, 2015; Jiren *et al.*, 2020; Guyomard *et al.*, 2023).

Saat ini, penggunaan *feed additives* yang masih diizinkan adalah *yeast*, enzim fibrolitik, minyak esensial dan tanin. Namun demikian, di luar negara Uni Eropa penggunaan ionofor tampaknya masih berlangsung meskipun ada kemungkinan semakin lama akan menurun penggunaannya (Ellis *et al.*, 2012; Hossam *et al.*, 2015). Kebijakan yang diterapkan oleh Eropa tersebut sudah selayaknya diikuti oleh negara lain yang masih mengizinkan penggunaan ionofor sebagai *feed additives*. Dengan demikian, sistem pangan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca global dan hilangnya keanekaragaman hayati, memastikan keamanan pangan, dan menyediakan akses terhadap pangan yang cukup, aman, bergizi,

dan berkelanjutan akan terwujud secara global. Hal tersebut dapat tercapai jika undang undang pelarangan penggunaan ionofor dibuat dan dilaksanakan dengan tegas.

Tabel 1. menunjukkan dampak positif dari penggunaan *feed additives*, termasuk penggunaan ionofor yang sudah dilarang di negara Uni Eropa. Penggunaan ionofor dimasukkan dalam tabel karena sampai saat ini masih banyak negara yang memanfaatkannya sebagai *feed additives* untuk meningkatkan produktivitasnya.

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 sangatlah menarik karena penggunaan *feed additives* memberikan dampak yang sangat bervariasi dan kadang tidak konsisten. Dampak yang sangat bervariasi tersebut dipengaruhi berbagai faktor seperti *feed additives* yang digunakan (Benchaar *et al.*, 2006; Duffield *et al.*, 2012; Mousa *et al.*, 2022; Cattaneo *et al.*, 2023), aplikasi (Yanza *et al.*, 2021; Ferraz Jr. & Carvalho, 2022) dosis (Abd-Rabou *et al.*, 2023; Battelli *et al.*, 2023), jenis ruminansia (Fadel & Abusamra, 2007; Azzaz *et al.*, 2013) dan pakan basal yang digunakan (Hernández *et al.*, 2009). Variasi dampak yang ditimbulkan sebagian besar bersifat menguntungkan sehingga frekuensi penggunaannya dari waktu ke waktu semakin meningkat. Manfaat penggunaan *feed additive* dapat dilihat dari Tabel 1 seperti peningkatan produksi susu, peningkatan ADG, menurunkan produksi gas metana, perbaikan *Feed Conversion Rate* (FCR) dan peningkatan status kekebalan hewan.

Tabel 1. Dampak penggunaan *feed additives* untuk ruminansia

Ternak	Feed additives	Dampak	Pustaka
Sapi perah <i>Holstein</i>	220 mg/hari monensin + Yeast $5,0 \times 10^{12}$ cfu/hari	Menurunkan derajat keasaman lingkungan rumen, memaksimalkan kerja mikroba dalam rumen	Golder <i>et al.</i> , 2023
Sapi potong	Monensin 28,1 mg/kg pakan	Menurunkan <i>dry matter intake</i> (DMI) 3,1% dan meningkatkan <i>average daily gain</i> (ADG) 2,5%	Duffield <i>et al.</i> , 2012
Sapi perah <i>Holstein</i>	Sodium monensin 30 mg/hari/ekor	Peningkatan produksi susu dan anti ketogenik	Ramanzin <i>et al.</i> , 1997
Sapi potong	Sodium monensin 25 mg/kg DM dan Narasin 13 mg/kg DM	Peningkatan <i>dry matter intake</i> (DMI)	Baggio <i>et al.</i> , 2023
Kambing <i>Aardi</i>	Lasalocid 20–30 ppm/kg DM	Peningkatan berat badan, performans dan profil lipoprotein	Basmaeil <i>et al.</i> , 2023
Kerbau <i>Nili-Ravi</i>	Yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) 14 g/ekor per hari	Peningkatan produksi susu, peningkatan lemak susu, penurunan <i>somatic cell count</i> (SCC)	Anjum <i>et al.</i> , 2018
Domba <i>Naemy</i>	Yeast 2,5 dan 5 g/hari	Peningkatan <i>average daily gain</i> (ADG)	Ahmed & Salah, 2002
Sapi perah <i>Holstein</i>	Yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) 10 g/hari	Peningkatan produksi susu, peningkatan protein susu, penurunan <i>somatic cell count</i> (SCC)	Cattaneo <i>et al.</i> , 2023
Kambing silang <i>Macheng black X Boer crossbred</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> NCDC-49 ($5,6 \times 10^9$ sel/ekor/hari)	Meningkatkan pertumbuhan, memperbaiki FCR dan meningkatkan kinerja rumen	Cai <i>et al.</i> , 2021
Domba <i>Barki</i>	Yeast kering (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) 6 g/ekor/hari	Meningkatkan koefisien pencernaan, nilai gizi, ADG dan status kekebalan hewan	Kewan <i>et al.</i> , 2021
Sapi perah	Enzim fibrolitik <i>xylanase</i> dan <i>cellulase</i> 10 g/ekor/hari	Tidak berpengaruh terhadap asupan pakan, peningkatan produksi susu, atau komposisi susu dari sapi menyusui	Reddish & Kung Jr, 2007
Domba <i>Ossimi</i>	Enzim Fibrolitik dan probiotik 0,5; 1, dan 2 kg/ton BK	Peningkatan pencernaan nutrisi, asupan pakan dan konversi pakan, peningkatan ADG	Mousa <i>et al.</i> , 2022
Kambing lokal Irak	Enzim fibrolitik eksogen (EFE) 1000g/ ton konsentrat.	Tidak berpengaruh terhadap asupan bahan kering, ADG dan FCR	Khalifa & Khalaf, 2021
Kambing perah <i>Murciano-Granadina</i>	Enzim fibrolitik 4,7 ml/kg konsentrat	Peningkatan berat badan tetapi tidak berpengaruh terhadap konsumsi pakan, produksi susu, kadar lemak 4%, dan komposisi susu	González <i>et al.</i> , 2008
Domba <i>Pelibuey</i>	Eksogenous enzim (<i>Trichoderma longibrachiatum</i>) 10 ml per kg DM	Meningkatkan pertambahan bobot badan dan daya cerna nutrisi tetapi tidak berpengaruh terhadap asupan nutrisi	López-Aguirre <i>et al.</i> , 2016
Domba persilangan <i>Suffolk × Hampshire</i>	Minyak esensial <i>oregano</i> 0,02% dan 0,04%	Meningkatkan aktivitas antioksidan	Muñoz-Cuautle <i>et al.</i> , 2022
Kambing <i>Zarrabi</i>	Minyak esensial <i>coriander</i> 1,9 g/per kg DM	Menurunkan persentase asam lemak tak jenuh tunggal, tidak ditemukan jamur dan koliform pada susu.	Abd-Rabou <i>et al.</i> , 2023
Sapi <i>Holstein</i> jantan	Minyak esensial <i>oregano</i> 26 mg/kg <i>dry matter</i> (DM)	Peningkatan pertumbuhan	Wu <i>et al.</i> , 2020
Sapi silang	Minyak esensial 50 mg/kg DM	Tidak mampu merubah performan sapi dan menurunkan emisi metana	Alemu <i>et al.</i> , 2019
Kambing <i>Damaskus</i>	Minyak esensial <i>marjoram</i> 20 ml/kg DM	Perbaikan pencernaan nutrisi, peningkatan kualitas fermentasi rumen, peningkatan produksi dan kualitas komposisi serta efisiensi susu.	Abd El Tawab <i>et al.</i> , 2022
Domba <i>Santa Ines</i>	Tannin 10 g/kg DM	Tidak berpengaruh pada performa	Orlandi <i>et al.</i> , 2020.
Sapi <i>Jersey</i>	Tannin 10 g/kg DM	Tidak berpengaruh pada performa	Avila <i>et al.</i> , 2020.
Kambing <i>Alpina</i>	Tannin 6% DMI	Menurunkan pencernaan pakan, produksi gas metana, menurunkan kandungan lemak dan protein kasar susu	Battelli <i>et al.</i> , 2023
Sapi perah <i>Friesian Holstein</i>	Tannin (<i>Acacia mearnsii</i>) 2,5% DMI	Menurunkan produksi gas metana, penurunan produksi susu	Grainger <i>et al.</i> , 2009.
Sapi perah silangan <i>Holstein</i>	tannin 1,5 %/kg DM	Peningkatan produksi susu 24,7%	Dey & De, 2014

Tabel 1 menunjukkan penggunaan *feed additives* yang mampu menurunkan produksi gas metana. Emisi gas metana yang disebabkan oleh industri peternakan ruminansia telah meningkatkan kesadaran masyarakat di seluruh

dunia dan saat ini telah menjadi masalah yang sangat sensitif dalam dunia peternakan ruminansia. Para peneliti secara intensif terus berusaha mengembangkan metode untuk menurunkan metanogenesis rumen sehingga

diharapkan dapat menurunkan emisi metana. Penurunan produksi gas metana karena pemberian *feed additives* didukung oleh hasil penelitian Hart *et al.* (2019) yang menyatakan minyak esensial menunjukkan efek menurunkan emisi metana pada sapi perah. Penelitian *in vitro* oleh Jahani-Azizabadi *et al.* (2019) menggunakan minyak esensial dari *Santalum spicatum* mampu menurunkan emisi gas metana sampai 50%. Hess *et al.* (2020) menyimpulkan leguminosa yang mengandung tanin juga mampu menurunkan produksi gas metana dalam rumen. Penelitian lain yang mendukung hasil penelitian di atas dengan memanfaatkan berbagai macam *feed additive* untuk menurunkan emisi gas metana telah banyak dilakukan dengan hasil yang bervariasi (Appuhamy *et al.*, 2013; Elghandour *et al.*, 2017; Carrazco *et al.*, 2020; Kholif *et al.*, 2022).

Desain studi meta-analisis yang publikasikan oleh Darabighane *et al.* (2019) tentang peran *Saccharomyces cerevisiae* sebagai *feed additive* terhadap produksi metana pada sapi perah dan sapi potong menunjukkan hasil yang tidak memuaskan. Secara khusus, penelitian tersebut menyimpulkan *yeast* pada ruminansia tidak mempunyai dampak signifikan dalam hal penurunan produksi gas metana. Hasil tersebut sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Alemu *et al.* (2019) yang menggunakan minyak esensial sebagai *feed additives* tidak mampu menurunkan gas metana pada sapi. Berbagai hasil penelitian memberikan kesimpulan banyak faktor yang dapat memengaruhi efek *feed additives* terkait dengan produksi gas metana. Faktor tersebut antara lain perbedaan penggunaan metode untuk mengukur gas metana (Storm *et al.*, 2012; Tedeschi *et al.*, 2022), manajemen pakan (Hristov *et al.*, 2022), iklim (Kebreab, 2022), dan kondisi ternak secara umum (Starsmore *et al.*, 2023). Menurut Sun *et al.* (2021b), Ada tiga cara utama untuk mengurangi produksi gas metana, (1) mengurangi jumlah protozoa rumen dan menghambat aktivitas metanogen; (2) meningkatkan produksi asam propionat untuk

bersaing dengan metanogen untuk mendapatkan hidrogen; (3) menghambat aktivitas enzim yang terlibat dalam aktivitas metanogen. Oleh sebab itu, masih banyak diperlukan studi lebih lanjut untuk lebih memahami dampak *feed additives* terhadap penurunan produksi gas metana pada ruminansia.

Tabel 1 menunjukkan pengaruh *feed additives* terhadap produksi susu yang bervariasi. Hasil penelitian oleh Ramanzin *et al.* (1997), Dey & De, (2014), Abd El Tawab *et al.*, (2022) dan Cattaneo *et al.*, (2023) menunjukkan terjadinya peningkatan produksi susu setelah penambahan *feed additives*. Namun demikian, hasil sebaliknya yaitu tidak ada perubahan pada produksi susu atau bahkan terjadi penurunan produksi susu ditunjukkan oleh penelitian Reddish & Kung Jr, (2007), González *et al.*, (2008) dan Grainger *et al.*, (2009). Kalmus *et al.* (2009) menyatakan suplementasi *yeast* (*Saccharomyces cerevisiae*) berpengaruh terhadap produksi protein dan lemak susu, namun tidak berpengaruh terhadap peningkatan volume produksi susu pada sapi *Estonian Holstein Friesian cows*. Hasil penelitian tersebut kemungkinan disebabkan oleh jumlah sampel dalam penelitian yang sangat kecil (46 sampel) sehingga memengaruhi signifikansi hasil penelitian. Hasil perbedaan tersebut kemungkinan juga dipengaruhi oleh kondisi fisiologis sapi karena perbedaan pengaruh terbesar antar kelompok muncul selama enam minggu pertama *postpartum*. Penelitian lain menunjukkan penggunaan *yeast* (*Saccharomyces cerevisiae*) sebagai *feed additives* hanya menunjukkan respon yang signifikan pada saat laktasi awal (Wohlt *et al.*, 1991; Dann *et al.*, 2000). Meskipun hasil penelitian menunjukkan manfaat suplementasi *yeast* dalam rumen, namun hasil penelitian yang telah dipublikasikan masih bervariasi dan tidak konsisten. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh variasi antar strain *yeast*, dosis yang digunakan dalam penelitian, kondisi

fisiologis dan perbedaan rancangan penelitian yang digunakan.

Hasil penelitian Yang *et al.* (1999) dengan menggunakan enzim fibrolitik menunjukkan adanya peningkatan pencernaan pakan dan produksi susu pada sapi perah. Respon peningkatan produksi tersebut lebih dipengaruhi oleh jumlah enzim fibrolitik dibandingkan penambahan enzim fibrolitik pada pakan hijauan atau konsentrat. Perbedaan metode pemberian fibrolitik enzim tersebut tampaknya memengaruhi hasil penelitian. Penambahan minyak esensial dosis 100 dan 150 mg/ekor/hari pada kambing *Chios* menunjukkan pengaruh nyata terhadap produksi susu, konsentrasi urea, dan *Somatic Cell Count* (SCC) pada sampel susu. Perbedaan hasil penelitian tersebut kemungkinan disebabkan oleh berbagai macam faktor seperti jenis *feed additives* yang digunakan, perbedaan dosis, metode pemberian dan jenis ternak ruminansia (Grainger *et al.*, 2009; Auldist *et al.*, 2013). Oleh sebab itu, menurut Giannenas *et al.* (2011) masih diperlukan penelitian jangka panjang untuk memvalidasi hasil tersebut dalam berbagai kondisi pengelolaan dan untuk mengetahui mekanisme yang pasti hasil penelitian tersebut.

Hasil penelitian López-Aguirre *et al.*, (2016) menunjukkan tidak adanya pengaruh enzim eksogen (*Trichoderma longibrachiatum*) terhadap asupan nutrisi namun terjadi peningkatan ADG pada domba *Pelibuey*. Peningkatan ADG tersebut kemungkinan karena terjadinya peningkatan pencernaan pakan. Hasil penelitian yang sama ditunjukkan oleh Titi (2003) pada kambing *Shami* dan Cruywagen & van Zyl (2008) pada domba *South African Mutton Merino*. Meskipun demikian, berbagai penelitian terhadap penambahan *feed additives* tidak menunjukkan hasil yang konsisten (López-Aguirre *et al.*, 2016). Hasil penelitian dengan menggunakan enzim fibrolitik berasal dari *Cellulomonas flavigena* sebagai *feed additives* pada domba *Pelibuey*-

Kathadin menunjukkan tidak ada perubahan pada produktivitasnya (Torres *et al.*, 2013). Hal tersebut menunjukkan variabilitas kinerja produktif pada ruminansia tidak hanya bergantung pada jenis dan aktivitas enzim (Beauchemin *et al.*, 2003), tetapi juga pada stabilitas enzim dalam rumen (Hristov *et al.*, 1998) dan karakteristik fisiko kimia dinding sel hijauan pakan ternak (Jalilvand *et al.*, 2008).

Hasil penelitian dengan menggunakan kambing *Anglo-Nubian* menunjukkan penambahan tanin sebagai *feed additives* kemungkinan akan menyebabkan perubahan berat badan hewan, namun tidak mampu untuk meningkatkan produksi susu. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor genetik (Nascimento *et al.*, 2021). Hasil tersebut sama dengan penelitian Battelli *et al.*, (2023) pada kambing *Alpin* menunjukkan penambahan tanin sebagai *feed additive* mengakibatkan penurunan produksi susu. Namun penyebab penurunan produksi susu tersebut berbeda dengan pendapat Nascimento *et al.*, (2021). Menurut Battelli *et al.*, (2023) penurunan tersebut kemungkinan bukan disebabkan oleh faktor genetik tetapi disebabkan jumlah pemberian tanin yang terlalu tinggi. Hasil penelitian Barry (1985) mengungkapkan penambahan tanin dosis tinggi asal *Lotus pedunculatus* yang mengandung 76–90 g tannin/ kg⁻¹ DM pada domba menurunkan tingkat penambahan berat badan dan pertumbuhan wol. Hasil penelitian tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan konsentrasi dan tanaman asal tanin yang digunakan sebagai pakan. Menurut Oliveira & Berchielli, (2007) dan Alonso-Díaz *et al.* (2010) asupan pakan hijauan kaya tanin oleh ruminansia kecil tergantung pada beberapa faktor seperti jumlah kandungan tanin dalam pakan, keseimbangan dan nilai gizi pakan, kondisi kesehatan hewan dan waktu adaptasi hewan terhadap pola makan hijauan yang mengandung tanin.

Pemberian *feed additives* juga dapat meningkatkan bobot badan ternak ruminansia.

Tabel 1 menunjukkan penelitian Ahmed & Salah (2002), Duffield *et al.* (2012), Kewan *et al.* (2021) dengan menggunakan *feed additives* mampu meningkatkan bobot badan ruminansia. Menurut Kawas *et al.* (2007), pertambahan bobot badan pada kambing *Pelibuey* yang diberikan *feed additives* berupa *yeast* yang diberi tambahan sodium bikarbonat kemungkinan terkait dengan peningkatan proses propiono-genesis melalui peran *yeast*. Caroprese *et al.* (2019) menyatakan penambahan minyak esensial sebagai *feed additives* mampu meningkatkan produksi susu dan bobot badan pada kambing. Dampak positif tersebut kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya palatabilitas pakan sehingga akan meningkatkan asupan pakan. Lebih lanjut, Basmaeil *et al.* (2023) menyatakan pemberian *lasalocid* pada kambing akan meningkatkan kinerja pertumbuhan, profil fermentasi rumen, pencernaan nutrisi, dan produksi gas. Hasil penelitian Goodrich *et al.* (1984) menunjukkan sapi potong yang secara rutin diberi ionofor mampu meningkatkan efisiensi pakan sebanyak 10%.

Seiring dengan bertambahnya populasi manusia maka permintaan produk hewani akan semakin meningkat. Oleh sebab itu, kebutuhan akan pakan ruminansia juga meningkat secara terus menerus. Kebutuhan pakan tersebut membutuhkan *feed additives* dalam pakan untuk memaksimalkan performa ruminansia secara keseluruhan. Saat ini di banyak negara penggunaan *feed additives* golongan ionofor yang menimbulkan risiko tinggi bagi konsumen atau lingkungan, telah dilarang penggunaannya dalam pakan ruminansia. Persoalan tersebut mendorong para peneliti untuk berusaha menggantikan *feed additives* golongan ionofor dengan kelompok *feed additives* yang lebih aman penggunaannya. Lebih lanjut, hasil penelitian *feed additives* masih menunjukkan banyak pertentangan sehingga perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam. Sudah saatnya para peneliti bekerja sama dengan industri pakan ruminansia berusaha mencari *feed*

additives alternatif yang dapat diterima oleh konsumen tanpa risiko terhadap kesehatan konsumen yang mengarah pada percepatan efisiensi produksi.

SIMPULAN

Feed additives berperan penting dalam meningkatkan efisiensi produksi pada ruminansia. *Feed additives* ini berkontribusi secara signifikan terhadap produktivitas dan kesejahteraan ruminansia secara keseluruhan. Namun, perlu dilakukan pertimbangan cermat terhadap penggunaannya dan penelitian berkelanjutan sangat penting untuk memaksimalkan manfaatnya dan memastikan keamanannya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Author menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang berhubungan dengan keuangan, pribadi, atau lainnya dengan orang atau organisasi lain yang terkait dengan materi yang dibahas dalam naskah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El Tawab, A. M., A. M. Kholif, N. E. El-Bordeny, H. M. Elsayed, & N. A. H. Selima. 2022. Feed utilization and lactational performance of Damascus Goats fed a diet. Egypt. J. Chem. 65:407-418.
- Abd-Rabou, H. S., H. M. M. Mansour, O. H. Matloup, S. M. A. Sallam, & M. A. Elazab. 2023. Impact of mixing coriander oil with goat feed on the chemical, microbiological and sensory characterizations of bio rayne milk. Sci. Rep. 13:11215. doi: 10.1038/s41598-023-38047-3.
- Addisu, S. H. 2016. Effect of dietary tannin source feeds on ruminal fermentation and production of cattle; a review. J. Anim. Feed Res. 6:45-56.

- Ahmed, B. M. & M. S. Salah. 2002. Effect of yeast cultures as an additive to sheep feed on performance, digestibility, nitrogen balance and rumen fermentation. *J. King Saud. Univ. Agric. Sci.* 14:1-3.
- Ahmed, M. M. N., Z. S. H. Ismail, & A. A. A. Abdel-Wareth. 2018. Application of prebiotics as feed additives in poultry nutrition - A review. *Egypt Poult. Sci.* 38:207-222.
- Alemu, A. W., A. Romero-Pérez, R. C. Araujo, & K. A. Beauchemin. 2019. Effect of encapsulated nitrate and microencapsulated blend of essential oils on growth performance and methane emissions from beef steers fed backgrounding diets. *Animals.* 9:21. <https://doi.org/10.3390/ani9010021>.
- Almeida, D. V., V. Kolinjivadi, T. Ferrando, B. Roy, H. Herrera, M. V. Gonçalves, & G. Van Hecken. 2023. The "Greening" of Empire: The European Green Deal as the EU first agenda. *Political Geography.* 105:102925. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2023.102925>.
- Alonso-Díaz, M. A., J. F. F. Torres-Acosta, C. A. Sandoval-Castro, & H. Hoste. 2010. Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: a friendly foe? *Small Ruminant Res.* 89:164-173. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.040>.
- Anil, S., Yadav, V. M. Anand, R. Chouraddi, S. K. Yadav, A. K. Singh, P. M. Nair, Prabhakar, J. Tiwari, & A. Durge. 2022. Review on the role of exogenous fibrolytic enzymes in ruminant nutrition. *Curr. J. Appl. Sci. Technol.* 41:45-58. DOI: 10.9734/CJAST/2022/v41i363966.
- Anjum, M. I., S. Javaid, M. S. Ansar, & A. Ghaffar. 2018. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield in Nili-Ravi buffaloes. *Iran J. Vet. Res.* 19:96-100.
- Appuhamy, J. A. D. R. N., A. B. Strathe, S. Jayasundara, C. Wagner-Riddle, J. Dijkstra, J. France, & E. Kebreab. 2013. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 96:5161-5173. doi: 10.3168/jds.2012-5923.
- Asemi-Esfahani, Z., B. Shareghi, S. Farhadian, & L. Momeni. 2022. Food additive dye-lysozyme complexation: Determination of binding constants and binding sites by fluorescence spectroscopy and modeling methods. *J. Molecular Liquids.* 363: 119749. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119749>
- Aslamyiah, S., M. Y. Karim, & B. Badraeni. 2018. Effects of dosage of mixed microorganisms in feed raw materials fermentation containing *Sargassum* sp. on growth performance, chemical body composition and hepatosomatic index of Milkfish, *Chanos chanos* Forsskal. *Torani J. Fisheries and Marine Sci.* 1:59-70. <https://doi.org/10.35911/torani.v1i2.4443>.
- Auldist, M. J., L. C. Marett, J. S. Greenwood, M. Hannah, J. L. Jacobs, & W. J. Wales. 2013. Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *J. Dairy Sci.* 96:1218-1231 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6079>.
- Avila, A. S., M. A. Zambom, A. Faccenda, M. L. Fischer, F. A. Anschau, T. Venturini, R. C. R. Tinini, J. G. Dessbesell, & A. P. Faciola. 2020. Effects of Black Wattle (*Acacia mearnsii*) condensed tannins on intake, protozoa population, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in Jersey Steers. *Animals.* 10:1011. doi:10.3390/ani10061011.
- Azzaz, H. H., H. A. Murad, A. M. Kholif, T. A. Morsy, A. M. Mansour, & H. M. El-Sayed. 2013. Increasing nutrients bioavailability by using fibrolytic enzymes in dairy buffaloes feeding. *J. Biological Sci.* 13:234-241. DOI: 10.3923/jbs.2013.234.241.
- Baggio, M., V. N. Gouvêa, J. P. R. Barroso, A. A. Miszura, A. C. Lime de, L. C. B. Soares, M. V. C. Ferraz Jr, A. C. S. Vicente, E. M. Ferreira, R. S. Marques, & A. V. Pires. 2023. Different combinations of monensin and narasin on growth performance, carcass traits, and ruminal fermentation characteristics of finishing beef cattle. *Front. Vet. Sci.* 10:1117639. doi: 10.3389/fvets.2023.1117639.
- Baker, L. M., J. Kraft, T. P. Karnezos, & S. L. Greenwood. 2022. Review: The effects of dietary yeast and yeast-derived extracts on rumen microbiota and their function. *Anim. Feed Sci. Technol.* 294:115476. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115476>.
- Barry, T. N. 1985. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. Rates of body and wool growth. *Br. J. Nutr.* 54:211-217. doi: 10.1079/bjn19850106.
- Basmaeil, S. M., G.M. Suliman, M. A. Al Garadi, M. A. Al-Badwi, M. M. Abdelrahman, F. S. Al-Harbi, A. M. El-Waziry, I. A. Alhidary, & A. A. Swelum. 2023. Effects of increasing levels of lasalocid supplementation on growth performance, serum biochemistry, ruminal

- fermentation profile, in vitro nutrient digestibility, and gas production of growing goats. *Front. Vet. Sci.* 10:181426. doi: 10.3389/fvets.2023.118142.
- Battelli, M., S. Colombini, G. M. Crovetto, G. Galassi, F. Abeni, F. Petrera, M. T. Manfredi, & L. Rapetti. 2023. Condensed tannins fed to dairy goats: effects on digestibility, milk production, blood parameters, methane emission, and energy and nitrogen balances. *J. Dairy Sci.* S0022-0302(24)00024-9. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24076>.
- Beauchemin, K. A., L. M. Rode, & V. J. H. Sewalt. 1995. Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Can. J. Anim. Sci.* 75:641-644. <https://doi.org/10.4141/cjas95-096>.
- Beauchemin, K.A., D. Colombatto, D. P. Morgavi, & W. Z. Yang. 2003. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 81:E37-47. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E37x.
- Bedasso, G. T. 2021. The functional feed additives in animal nutrition: The substitute to antibiotics. *J. Res. Agric. Anim. Sci.* 8:18-23.
- Benchaar, C., S. Calsamiglia, A. V. Chaves, G. R. Fraser, D. Colombatto, T. A. McAllister, & K. A. Beauchemin. 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:209-228. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014>.
- Benchaar, C., J. L. Duynisveld, & E. Charmley. 2006. Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 86:91-96. <https://doi.org/10.4141/A05-027>.
- Bismarck, D., J. Becker, E. Müller, V. Becher, L. Nau, & P. Mayer. 2022. Screening of antimicrobial activity of essential oils against bovine respiratory pathogens-focusing on *Pasteurella multocida*. *Planta Med.* 88:274-281. doi: 10.1055/a-1726-9291.
- Buryakov, N. P., A. Y. Zagarin, M. M. Fathala, & D. E. Aleshin. 2023. The role of supplementing a complex phytobiotic feed additive containing (*Castanea sativa* mill) extract in combination with calcium butyrate, zinc-methionine and essential oils on growth indicators, blood profile and carcass quality of broiler chickens. *Vet. Sci.* 10:212. doi: 10.3390/vetsci10030212.
- Busch, G., B. Kassas, M. Palma, & A. Risius. 2020. Perceptions of antibiotic use in livestock farming in Germany, Italy and the United States. *Livest. Sci.* 241:104251. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104251>.
- Butaye, P., L. A. Devriese, & F. Haesebrouck. 2003. Antimicrobial growth promoters used in animal feed: effects of less well-known antibiotics on gram-positive bacteria. *Clin. Microbiol. Rev.* 16:175-88. doi: 10.1128/CMR.16.2.175-188.2003.
- Butnariu, M. & I. Sarac. 2018. Essential oils from plants. *J. Biotechnol. Biomed. Sci.* 1:36. doi: 10.1302/issn.2576-6694.jbbs-18-2489.
- Cabiddu, A., C. Delgadillo-Puga, M. Decandia, & G. Molle. 2019. Extensive ruminant production systems and milk quality with emphasis on unsaturated fatty acids, volatile compounds, antioxidant protection degree and phenol content. *Animals.* 9:771. <https://doi.org/10.3390/ani9100771>.
- Cai, L., J. Yu, R. Hartanto, & D. Qi. 2021. Dietary supplementation with *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridium butyricum* and their combination ameliorate rumen fermentation and growth performance of heat-stressed goats. *Animals.* 11:2116. <https://doi.org/10.3390/ani11072116>.
- Cai, S., J. Li, F. Z. Hu, K. Zhang, Y. Luo, B. Janto, R. Boissy, G. Ehrlich, & X. Dong. 2010. *Cellulosilyticum ruminicola*, a newly described rumen bacterium that possesses redundant fibrolytic-protein-encoding genes and degrades lignocellulose with multiple carbohydrate- borne fibrolytic enzymes. *Appl. Environ. Microbiol.* 76:3818-3824. doi: 10.1128/AEM.03124-09.
- Câmara, A., J. A. B. Afonso, C. L. Mendonça, & A. C. S. Vieira. 2013. Salinomycin effect on the prevention of ruminal lactic acidosis in sheep. *Ci. Anim. Bras., Goiânia.* 14:65-73. DOI: 10.5216/cab.v14i1.3792.
- Caprarulo, V., V. Ventura, A. Amatucci, G. Ferronato, & G. Gilioli. 2022. Innovations for reducing methane emissions in livestock toward a sustainable system: Analysis of feed additive patents in ruminants. *Animals.* 12:2760. <https://doi.org/10.3390/ani12202760>.
- Caprioli, G., G. Lupidi, & F. Maggi. 2019. Comparison of chemical composition and antioxidant activities of two Winter savory subspecies (*Satureja montana* subsp. *variegata* and *Satureja montana* subsp. *montana*) cultivated in Northern Italy. *Nat. Prod. Res.* 33:3143-3147.

- <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1516661>.
- Caroprese, M., M. G. Ciliberti, R. Marino, A. Santillo, A. Sevi, & M. Albenzio. 2023. Essential oil supplementation in small ruminants: A review on their possible role in rumen fermentation, microbiota, and animal production. *Dairy*. 4:497-508. <https://doi.org/10.3390/dairy4030033>.
- Caroprese, M., M. G. Ciliberti, & M. Albenzio. 2019. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. In *Feed Additives: Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health*, 1st ed.; Florou-Paneri, P., Christaki, E., Giannenas, I., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
- Carrasco, A. V., C. B. Peterson, Y. Zhao, Y. Pan, J. J. McGlone, E. J. DePeters, & F. M. Mitloehner. 2020. The impact of essential oil feed supplementation on enteric gas emissions and production parameters from dairy cattle. *Sustainability*. 12:10347. <https://doi.org/10.3390/su122410347>.
- Cattaneo, L., V. Lopreiato, F. Piccioli-Cappelli, E. Trevisi, & A. Minuti. 2023. Effect of supplementing live *Saccharomyces cerevisiae* yeast on performance, rumen function, and metabolism during the transition period in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 106:4353-4365. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23046>.
- Cavallini, D., L. M. E. Mammi, A. Palmonari, R. García-González, J. D. Chapman, D. J. McLean, & A. Formigoni. 2022. Effect of an immunomodulatory feed additive in mitigating the stress responses in lactating dairy cows to a high concentrate diet challenge. *Animals (Basel)*. 12:2129. doi: 10.3390/ani12162129.
- Chattopadhyay, M. K. 2014. Use of antibiotics as feed additives: a burning question. *Front Microbiol.* 5:334. doi: 10.3389/fmicb.2014.00334.
- Chaucheyras-Durand, F., N. D. Walker, & A. Bach. 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: past, present and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:5-26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019>.
- Chen, J., S. He, Z. Zhang, J. Li, X. Zhang, J. Li, J. Xu, P. Zheng, J. Xian, & Y. Lu. 2024. Application of organic acid salts as feed additives in some aquatic organisms: potassium diformate. *Fishes*. 9:85. <https://doi.org/10.3390/fishes9030085>.
- Chen, X., S. Shang, F. Yan, H. Jiang, G. Zhao, S. Tian, R. Chen, D. Chen, & Y. Dang. 2023. Antioxidant activities of essential oils and their major components in scavenging free radicals, inhibiting lipid oxidation and reducing cellular oxidative stress. *Molecules*. 28:4559. doi: 10.3390/molecules28114559.
- Chen, X., Y. Gu, K. Singh, C. Shang, M. Barzegar, S. Jiang, & S. Huang. 2014. Maduramicin inhibits proliferation and induces apoptosis in myoblast cells. *PLoS ONE* 9:e115652. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115652>.
- Cobellis, G., M. Trbalza, & Z. Yu. 2016. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *The Science of The Total Environment* 545-546:556-568. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.12.103.
- Corino, C. & R. Rossi. 2021. Antioxidants in Animal Nutrition. *Antioxidants (Basel)*. 10:1877. doi: 10.3390/antiox10121877.
- Crossland, W. L., L. O. Tedeschi, T. R. Callaway, M. D. Miller, W. B. Smith, & M. Cravey. 2017. Effects of rotating antibiotic and ionophore feed additives on volatile fatty acid production, potential for methane production, and microbial populations of steers consuming a moderate-forage diet. *J. Anim. Sci.* 95:4554-4567. doi: 10.2527/jas2017.1665.
- Cruywagen, C. W. & W. H. van Zyl. 2008. Effects of a fungal enzyme cocktail treatment of high and low forage diets on lamb growth. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:151-158. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.038.
- Dann, H. M., J. R. Prockley, G. C. McCoy, M. F. Hutjens, & J. E. Garret. 2000. Effects of yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on prepartum intake and postpartum intake and milk production of Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 83:123-127. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74863-6.
- da Silva Aguiar, F., L. R. Bezerra, M. A. Cordão, I. T. R. Cavalcante, J. P. F. de Oliveira, R. R. do Nascimento, B. B. de Souza, R. L. Oliveira, E. S. Pereira, & J. M. P. Filho. 2023. Effects of increasing levels of total tannins on intake, digestibility, and balance of nitrogen, water, and energy in hair lambs. *Animals*. 13:2497. <https://doi.org/10.3390/ani13152497>.
- Darabighane, B., A. Z. M. Salem, F. M. Aghjehgheshlagh, A. Mahdavi, A. Zarei, M. M. Y. Elghandour, & Z. López. 2019. Environmental efficiency of *Saccharomyces cerevisiae* on methane production in dairy and

- beef cattle via a meta-analysis. *Environ. Sci. Pollution Res.* 26:3651-3658. DOI:10.1007/s11356-018-3878-x.
- de Sousa, D. P., R. O. S. Damasceno, R. Amorati, H. A. Elshabrawy, R. D. de Castro, D. P. Bezerra, V. R. V. Nunes, R. C. Gomes, & T. C. Lima. 2023. Essential oils: Chemistry and pharmacological Activities. *Biomolecules*. 13:1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>.
- Decker, E. A., C. C. Akoh, & R. S. Wilkes. 2012. Incorporation of (n-3) fatty acids in foods: challenges and opportunities. *The J. Nutrition*. 142:610-613. doi: 10.3945/jn.111.149328.
- Denev, S. A., T. Z. Peeva, P. Radulova, N. Stancheva, G. Staykova, G. Beev, P. Todorova, & S. Tchobanova. 2007. Yeast cultures in ruminant nutrition. *Bulg. J. Agric. Sci.* 13:357-374.
- Dey, A., & P. S. De. 2014. Influence of condensed tannins from *Ficus bengalensis* leaves on feed utilization, milk production and antioxidant status of crossbred cows. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:342. doi: 10.5713/ajas.2013.13295.
- Dey, S. & B. H. Nagababu. 2022. Applications of food color and bio-preservatives in the food and its effect on human health. *Food Chem. Adv.* 1:100019. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100019>.
- Divekar, P. A., S. Narayana, B. A. Divekar, R. Kumar, B. G. Gadratagi, A. Ray, A. K. Singh, V. Rani, V. Singh, A. K. Singh, A. Kumar, R. P. Singh, R. S. Meena, & T. K. Behera. 2022. Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection. *Int. J. Mol. Sci.* 23:2690. doi: 10.3390/ijms23052690.
- Dorantes-Iturbide, G., J. F. Orzuna-Orzuna, A. Lara-Bueno, G. D. Mendoza-Martínez, L. A. Miranda-Romero, & H. A. Lee-Rangel. 2022a. Essential oils as a dietary additive for small ruminants: a meta-analysis on performance, rumen parameters, serum metabolites, and product quality. *Vet. Sci.* 9: 475. doi: 10.3390/vetsci9090475.
- Dorantes-Iturbide, G., J. F. Orzuna-Orzuna, A. Lara-Bueno, L. A. Miranda-Romero, G. D. Mendoza-Martínez, & P. A. Hernández-García, 2022b. Effects of a polyherbal dietary additive on performance, dietary energetics, carcass traits, and blood metabolites of finishing lambs. *Metabolites*. 12:413. doi: 10.3390/metabo12050413.
- Duffield. T. F., J. K. Merrill, & R. N. Bagg. 2012. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *J. Anim. Sci.* 90:4583-4592. doi: 10.2527/jas.2011-5018.
- Dutta, T. K., S. K. Yadav, & A. Chatterjee. 2019. Antibiotics as feed additives for livestock: human health concerns. *Indian J. Anim. Health*. 58:121-136. Doi: <https://doi.org/10.36062/ijah.58.2SPL.2019.121-136>.
- Dynes, R. A., D. A. Henry, & D. G. Masters. 2003. Characterising forages for ruminant feeding. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 16:116-123. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.116>.
- Edrington, T. S., T. R. Callaway, K. M. Bischoff, K. J. Genovese, R. O. Elder, R. C. Anderson, & D. J. Nisbet. 2003. Effect of feeding the ionophores monensin and laidlomycin propionate and the antimicrobial bambarmycin to sheep experimentally infected with *E. coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium*. *J. Anim. Sci.* 81:553-560. doi: 10.2527/2003.812553x.
- EFSA. 2023. Feed Additives. Feed additives - EFSA - European Union, <https://www.efsa.europa.eu/topics/topic/feed-additi>.
- EFSA. 2022. Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). Safety of a feed additive consisting of semduramicin sodium (Aviax 5%) for chickens for fattening (Phibro Animal Health s.a.). 20:e07432. doi: 10.2903/j.efsa.2022.7432.
- El-Essawy, A. M., U. Y. Anele, A. M. Abdel-Wahed, A. R. Abdou, & I. M. Khattab. 2021. Effects of anise, clove and thyme essential oils supplementation on rumen fermentation, blood metabolites, milk yield and milk composition in lactating goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 271:114760. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114760>.
- Elghandour, M. M. Y., J. C. Vázquez, A. Z. M. Salem, A. E. Kholif, M. M. Cipriano, L. M. Camacho, & O. Márquez. 2017. In vitro gas and methane production of two mixed rations influenced by three different cultures of *Saccharomyces cerevisiae*. *J. App. Anim. Res.* 45:389-395, doi: 10.1080/09712119.2016.1204304.
- Ellis, J. L., J. Dijkstra, A. Bannink, E. Kebreab S. E. Hook, S. Archibeque, & J. France. 2012. Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *J. Anim. Sci.* 90:2717-2726. doi: 10.2527/jas.2011-3966.
- European Commission. 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and

- environmentally-friendly food system COM/2020/381 final.
- Fadel, A. M., & A. Abusamra. 2007. Effect of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on NDF digestibility and rumen fermentation of forage sorghum hay in Nubian goat's kids. *J. Agricul. Biologic. Sci.* 3:133-137
- Farha, A.K., Q. Q. Yang, G. Kim, H. B. Li, F. Zhu, H. Y. Liu, R. Y. Gan, & H. Corke. 2020. Tannins as an alternative to antibiotics. *Food Biosci.* 38:100751. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100751>.
- Fenta, M. D., A. A. Gebremariam, & A. S. Mebratu. 2023. Effectiveness of probiotic and combinations of probiotic with prebiotics and probiotic with rumenototics in experimentally induced ruminal acidosis sheep. *Vet. Med. (Auckl)*. 14:63-78. doi: 10.2147/VMRR.S396979.
- Ferraz Jr, M. V. C. & P. H. V. Carvalho, 2022. Use of feed additives to improve feed efficiency and growth of feedlot cattle. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 30:27-35. <https://doi.org/10.53588/alpa.300503>.
- Fitrihidajati, H., & I. E. Ratnasari. 2017. Effectiveness of ruminant feed formula from the fermented water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to produce the high-level protein of goat meat. *Adv. Sci. Letters*. 23:11972-11975. doi:10.1166/asl.2017.10555.
- Fonseca, N. V. B., A. D. S. Cardoso, A. S. R. D. S. Bahia, J. D. Messina, E. F. Vicente, & R. A. Reis. 2023. Additive tannins in ruminant nutrition: an alternative to achieve sustainability in animal production. *Sustainability*. 15:4162. <https://doi.org/10.3390/su15054162>.
- Fuller, R. A. 1989. Review: Probiotics in man and animals. *J. Application Bacteriol.* 66:365-378.
- Gerlach, K., M. Pries, & K. H. Südekum. 2018. Effect of condensed tannin supplementation on in vivo nutrient digestibilities and energy values of concentrates in sheep. *Small Ruminant Research*. 161:57-62. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.01.017>.
- Ghimpețeanu, O. M., E. N. Pogurschi, D. C. Popa, N. Dragomir, T. Drăgoțoiu, O. D. Mihai, & C. D. Petcu. 2022. Antibiotic use in livestock and residues in food-a public health threat: A Review. *Foods*. 11:1430. doi: 10.3390/foods11101430.
- Giannenas, I., J. Skoufous, C. Giannakopoulos, M. Wiemann, O. Gortzi, S. Lalas, & I. Kyriazakis. 2011. Effect of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 94:5569-5577. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4096>.
- Golder, H. M., S. E. Denman, C. McSweeney, P. Celi & I. J. Lean. 2023. Effects of feed additives on rumen function and bacterial and archaeal communities during a starch and fructose challenge. *J. Dairy Sci.* 106:8787-8808. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23486>.
- González, E., G. Caja, E. Albanell, C. Flores, R. Casals, & X. Such. 2008. Lactational effects of adding a fibrolytic enzyme complex to the concentrate of lactating dairy goats. *J. Anim. Feed Sci.* 17:344-351. DOI: <https://doi.org/10.22358/jafs/66614/2008>.
- Goodrich, R.D., J. E. Garrett, D. R. Gast, M. A. Kirick, D. A. Larson, & J. C. Meiske. 1984. Influence of monensin on the performance of cattle. *J. Anim. Sci.* 58:1484-1498. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861484x>.
- Grainger, C., T. Clarke, M. J. Auld, K. A. Beauchemin, S. M. McGinn, G. C. Waghorn, & R. J. Eckard. 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 89:241-251.
- Günel, M., B. Pinski, & A. A. AbuGhazaleh. 2017. Evaluating the effects of essential oils on methane production and fermentation under in vitro conditions, *Italian J. Anim. Sci.* 16:500-506. doi: 10.1080/1828051X.2017.1291283.
- Guyomard, H., L. G. Soler, C. Détang-Dessendre, & V. Réquillart. 2023. The European Green Deal improves the sustainability of food systems but has uneven economic impacts on consumers and farmers. *Commun. Earth Environ.* 4:358. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01019-6>.
- Hart, K. J., H. G. Jones, K. E. Waddams, H. J. Worgan, B. Zweifel & C. J. Newbold. 2019. An essential oil blend decreases methane emissions and increases milk yield in dairy cows. *Open J. Anim. Sci.* 9:259. doi: 10.4236/ojas.2019.93022.
- Henke, A., E. Westreicher-Kristen, J. Molkentin, U. Dickhoefer, K. Knappstein, M. Hasler, & A. Susenbeth. 2017. Effect of dietary quebracho tannin extract on milk fatty acid composition in cows. *J. Dairy Sci.* 100:6229-6238. doi: 10.3168/jds.2016-12149.
- Hernández, R., S. S. González, J. M. Pinos-Rodríguez, M. E. Ortega, A. Hernández, G. Bueno, & M. Cobos. 2009. Effect of a yeast culture on

- nitrogen balance and digestion in lambs fed early and mature orchard grass. *J. Appl. Anim. Res.* 35:53-56. DOI:10.1080/09712119.2009.9706984.
- Hess, H. D., T. T. Tiemann F. Noto, J. E. Carulla, & M. Kreuzer. 2006. Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock. *International Congress Series.* 1293:164-167. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.01.010>.
- Hon, D. N. S. 1994. Cellulose: a random walk along its historical path. p. 25.
- Hong, H. T. & C. P. Wu. 2021. *Bacillus* spp.-fermented mixture in goat starter diets on growth performance, blood, and carcass and gastrointestinal traits. *Revista Brasileira de Zootecnia* 50:e20200242. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200242>.
- Hossam, H., H. H. Azzaz, H. A. Murad, & T. A. Morsy. 2015. Utility of ionophores for ruminant animals. *Asian J. Anim. Sci.* 9:254-265. doi: 10.3923/ajas.2015.254.265.
- Hristov, A. N., A. Melgar, D. Wasson, & C. Arndt. 2022. Symposium Review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 105:8543-8557. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21398>
- Hristov, N.A., T. A. McAllister, & K. J. Cheng. 1998. Stability of exogenous polysaccharide degrading enzymes in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76:161-168. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00217-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00217-X).
- Huang, Q., X. Liu, G. Zhao, T. Hu, & Y. Wang. 2018. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Anim. Nutrition.* 4:137-150. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>.
- Hvelplund, T., M. R. Weisbjerg, I. K. Hindrichsen, & J. Madseen. 2009. The effect of adding exogenous enzymes at ensiling on nutrient availability in different forages. *Proceedings of the TSAP Conference, September, 2009, Mwanza, Tanzania*, pp: 1-7.
- Hymes-Fecht, U. C. & D. P. Casper. 2021. Adaptation and withdrawal of feeding dried *Aspergillus oryzae* fermentation product to dairy cattle and goats on in vitro NDF digestibility of selected forage sources. *Transl. Anim. Sci.* 5:txab051. doi: 10.1093/tas/txab051.
- Jahani-Azizabadi, H., Z. Durmic, J. Vadhanabhuti, & P. E. Vercoc. 2019. Effect of some Australian native shrubs essential oils on in vitro rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet. *J. Anim. Plant Sci.* 29:8-15.
- Jalilvand, G., N. E. Odongo, S. López, A. Naserian, R. Valizadeh, F. Shahrodi, E. Kebreab, & J. France. 2008. Effects of different levels of an enzyme mixture on in vitro gas production parameters of contrasting forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 146:289-301. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2008.01.007.
- Jayanegara, A., F. Leiber, & M. Kreuzer. 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96:365-375. doi: 10.1111/j.14390396.2011.01172.x.
- Jet, S. M. & N. S. Florencia. 2021. Phytogenic feed additives as an alternative to antibiotic growth promoters in poultry nutrition. *Advanced studies in the 21st century. Animal Nutr.* 8:1-18. 10.5772/intechopen.99401.
- Jiren, T. S., I. Dorresteyn, J. Hanspach, J. Schultner, A. Bergsten, A. Manlosa, N. Jager, F. Senbeta, & J. Fischer. 2020. Alternative discourses around the governance of food security: A case study from Ethiopia. *Global Food Security.* 24:100338. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100338>.
- Kalmus, P., T. Orro, A. Waldmann, R. Lindjärv, & K. Kask. 2009. Effect of yeast culture on milk production and metabolic and reproductive performance of early lactation dairy cows. *Acta Vet. Scand.* 5:32. doi: 10.1186/1751-0147-51-32.
- Kawas, J. R., R. Garcia-Castillo, F. Garza-Cazares, H. Fimbres-Durazo, E. O. Saenz, G. H. Vidal, & C. D. Lu. 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeasts on productive performance and carcass characteristics of light-weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Res.* 67:157-163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.09.011>.
- Kebreab, E. 2022. Environmental impact of feed additives in cattle production. No. 55 (2022): 2022 Annual Conference Proceedings. American Association of Bovine Practitioners. Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.21423/aabppro20228607>.
- Kelln, B. M., G. B. Penner, S. N. Acharya, T. A. McAllister, & H. A. Lardner. 2021. Impact of condensed tannin-containing legumes on ruminal fermentation, nutrition, and performance in ruminants: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 101:210-223. [dx.doi.org/10.1139/cjas-2020-0096](https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0096).

- Kewan, K. Z., M. M. Ali, B. M. Ahmed, S. A. El-Kolty, & U. A. Nayel. 2021. The effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), garlic (*Allium sativum*) and their combination as feed additives in finishing diets on the performance, ruminal fermentation, and immune status of lambs. *Egyptian J. Nutrition and Feeds*. 24:55-76.
- Khalifa, S. S., & S. Sh. Khalaf. 2021. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on performance of local male goats. *Anbar J. Agricul. Sci*. 19:96-105. DOI -Crossref: 10.32649/ajas.2021.176226.
- Kholif, A. E., G. A. Gouda, T. A. Morsy, O. H. Matloup, M. Fahmy, A. S. Gomaa, & A. K. Patra. 2022. Dietary date palm leaves ensiled with fibrolytic enzymes decreased methane production, and improved feed degradability and fermentation kinetics in a ruminal in vitro system. *Waste Biomass Valor* 13:3475-3488. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01752-7>.
- Kim, S. A., M. J. Jang, S. Y. Kim, Y. Yang, H. O. Pavlidis, & S. C. Ricke. 2019. Potential for prebiotics as feed additives to limit foodborne *Campylobacter* establishment in the poultry gastrointestinal tract. *Front. Microbiol.* 10:431584. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00091>.
- Kumar, S., S. S. Dagar, A. K. Puniya, & R. C. Upadhyay. 2013. Changes in methane emission, rumen fermentation in response to diet and microbial interactions. *Res. Vet. Sci.* 94:263-268. 10.1016/j.rvsc.2012.09.007.
- Letlhogonolo, A. S., M. H. Zahra, G. M. Tlou, & M. Monnye. 2020. The current status of the alternative use to antibiotics in poultry production: An African perspective. *Antibiotics*. 9:1-18. 10.3390/antibiotics9090594.
- Liang, Q., M. Yuan, L. Xu, E. Lio, F. Zhang, H. Mou, & F. Secundo. 2022. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Sci. Technol.* 4:208-221. <https://doi.org/10.1007/s42995-022-00128-z>.
- López-Aguirre, D., J. Hernández-Meléndez, R. Rojo, F. Sánchez-Dávila, N. López-Villalobos, A. F. Z. M. Salem, J. C. Martínez-González, J. F. Vázquez-Armijo, & S. Ruíz. 2016. Effects of exogenous enzymes and application methods on nutrient intake, digestibility and growth performance of Pelibuey lambs. *Springer Plus*. 5:1399. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3075-7>.
- Loregian, K. E, D. A. B. Pereira, F. Rigon, E. Magnani, M. I. Marcondes, E. A. Baumel, R. H. Branco, P. Del Bianco Benedeti, & E. M. Paula. 2023. Effect of tannin inclusion on the enhancement of rumen undegradable protein of different protein sources. *Ruminants*. 3:413-424. <https://doi.org/10.3390/ruminants3040034>.
- Luebke, M. K., K. H. Jenkins, S. A. Furman, & K. Kreikemeier. 2013. Effects of feeding microbial feed additives on growth performance and carcass traits of steers fed steam-flaked corn-based diets with wet distillers grains plus soluble. *Nebraska Beef Cattle Report*. 66.
- Makkar, H. P. S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin. Res.* 49:241-256. doi: 10.1016/S0921-4488(03)00142-1.
- Manuelian, C. L., R. Pitino, M. Simoni, A. Mavrommatis, M. De Marchi, F. Righi, & E. Tsiplakou. 2021. Plant feed additives as natural alternatives to the use of synthetic antioxidant vitamins on livestock mammals' performances, health, and oxidative status: A Review of the literature in the last 20 years. *Antioxidants*. 10:1461. <https://doi.org/10.3390/antiox10091461>.
- Mao, H. L., H. Mao, J. K. Wang J. X. Liu, & I. Yoon. 2013. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on in vitro fermentation and microbial communities of low-quality forages and mixed diets. *J. Anim. Sci.* 91:3291-3298. DOI: 10.2527/jas.2012-5851.
- Marques, R. D. S. & R. F. Cooke. 2021. Effects of ionophores on ruminal function of beef cattle. *Animals (Basel)*. 11:2871. doi: 10.3390/ani11102871.
- Márquez, A., G. Mendoza, J. M. Pinos-Rodríguez, H. Zavaleta, S. González, S. Buntinx, O. Loera, & M. Meneses. 2009. Effect of fibrolytic enzymes and incubation pH on in vitro degradation of NDF extracts of alfalfa and orchardgrass. *Italian J. Anim. Sci.* 9:221-230. doi:10.4081/ijas.2009.221.
- Masyita, A., R. M. Sari, A. D. Astuti, B. Yasir, N. R. Rumata, T. B. Emran, F. Nainu, & J. Simal-Gandara. 2022. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem. X*. 13:100217. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100217.

- McGuffey, R. K., L. F. Richardson, & J. I. D. Wilkinson. 2001. Ionophores for dairy cattle: Current Status and Future Outlook. *Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.): E194-E203. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70218-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70218-4).
- Menci, R., M. Coppa, A. Torrent, A. Natalello, B. Valenti, G. Luciano, A. Priolo, & V. Niderkorn. 2021. Effects of two tannin extracts at different doses in interaction with a green or dry forage substrate on in vitro rumen fermentation and biohydrogenation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 278:114977. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114977>.
- Mendoza, G. D., O. Loera-Corral, F. X. Plata-Pérez, P. A. Hernández- García, & M. Ramírez-Mella. 2014. Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *Scientific World J.* 2014:247437. doi: 10.1155/2014/247437.
- Miller-Webster, T., W. H. Hoover, M. Holt, & J. E. Nocek. 2002. Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 85:2009-2014. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74277-X.
- Mlambo, V. & C. M. Mnisi. 2019. Optimizing ruminant production systems for sustainable intensification, human health, food security and environmental stewardship. *Outlook on Agriculture.* 48:85-93. <https://doi.org/10.1177/0030727019840758>.
- Moody, M. L., G. I. Zanton, J. M. Daubert, & A. J. Heinrichs. 2007. Nutrient utilization of differing forage-to-concentrate ratios by growing Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 90:5580-5586. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0570>.
- Mousa, G. A., M. A. Allak, M. G. Shehata, N. M. Hashem, & O. G. A. Hassan. 2022. Dietary supplementation with a combination of fibrolytic enzymes and probiotics improves digestibility, growth performance, blood metabolites, and economics of fattening lambs. *Animals (Basel).* 12:476. doi: 10.3390/ani12040476.
- Muñoz-Cuautle, A., M. E. Ortega-Cerrilla, J. G. Herrera-Haro, C. Nava-Cuellar, C. Gutiérrez-Olvera, J. E. Ramírez-Bribiesca, & P. Zetina-Córdoba. 2022. Effect of Oregano (*Lippia graveolens*) essential oil as a phytogetic feed additive on productive performance, ruminal fermentation, and antioxidant activity in lamb meat. *Agriculture.* 12:973. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070973>.
- Muro, M. G., R. Arias, M. S. Trigo, M. A. Eirin, A. C. Cattáneo, K. Steffen, & C. A. Cordiviola. 2018. Use of ionophores in goat feeding. *Inter. J. Sci.* 4:51-56. DOI: 10.18483/ijSci.1706.
- Nascimento, T. V. C., R. L. Oliveira, D. R. Menezes, A. R. F. de Lucena, M. A. Á. Queiroz, A. G.V. O. Lima, R. D. X. Ribeiro, & L. R. Bezerra. 2021. Effects of condensed tannin-amended cassava silage blend diets on feeding behavior, digestibility, nitrogen balance, milk yield and milk composition in dairy goats. *Animal.* 15:100015. doi: 10.1016/j.animal.2020.100015.
- Nehme, R., S. Andrés, R. B. Pereira, M. Ben Jemaa, S. Bouhallab, F. Cecilian, S. López, F. Z. Rahali, R. Ksouri, D. M. Pereira, & L. Abdennebi-Najar. 2021. Essential Oils in Livestock: From Health to Food Quality. *Antioxidants.* 10:330. doi: 10.3390/antiox10020330.
- Noack, S., H. D. Chapman, & P. M. Selzer. 2019. Anticoccidial drugs of the livestock industry. *Parasitol. Res.* 118:2009-2026. doi: 10.1007/s00436-019-06343-5.
- Novilla, M. N. 1992. The veterinary importance of the toxic syndrome induced by ionophores. *Vet. Hum. Toxicol.* 34:66-70.
- Oliveira, S. G. & T. T. Berchielli. 2007. Potentiality of tannins used in forage conservation and ruminant nutrition : A Review. *Archives Vet. Sci.* 12:1-9
- Omonijo, F. A., L. Ni, J. Gong, Q. Wang, L. Lahaye, & C. Yang. 2018. Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. *Anim. Nutr.* 4:126-136. doi: 10.1016/j.aninu.2017.09.001.
- Orlandi, T., C. A. Pozo, M. P. Mezzomo, & G. V. Kozloski. 2020. Acacia mearnsii tannin extract as a feed additive: impact on feed intake, digestibility and nitrogen excretion by sheep fed a tropical grass-based diet. *Ciência Rural, Santa Maria.* 50:e20200095. <https://doi.org/10.1590/0103-478cr20200095>.
- Pariza, M. W. & M. Cook. 2010. Determining the safety of enzymes used in animal feed. *Regulatory Toxic. Pharmacol.* 56:332-342. DOI: 10.1016/j.yrtph.2009.10.005.
- Pasqualino, L. F., G. B. Oliveira, A. A. Miszura, J. P. R. Barroso, A. C. Limede, L. A. Sardinha, J. S. Biava, E. M. Ferreira, A. Vaz Pires, & D. M. Polizel. 2020. Residual effect of narasin on ruminal fermentation characteristics in lambs. *Livestock Sci.* 240:104141. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104141>.

- Patra, A. K. 2012. The use of live yeast products as microbial feed additives in ruminant nutrition. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 7:366-375. DOI:10.3923/ajava.2012.366.375.
- Phakachloed, N., W. Suksombat, D. Colombatto, & K. A. Beauchemin. 2013. Use of fibrolytic enzymes additives to enhance in vitro ruminal fermentation of corn silage. *Livestock Sci.* 157:100-112. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.020>.
- Placha, I., F. Gai, & M. P. Simomova. 2022. Editorial: Natural feed additives in animal nutrition—Their potential as functional feed. *Front. Vet. Sci.* 9:1062724. doi: 10.3389/fvets.2022.1062724.
- Polizel, D. M., A. S. Martins, A. A. Miszura, M. V. de Castro Ferraz Júnior, A. V. Bertoloni, G. B. Oliveira, J. P. R. Barroso, E. M. Ferreira, & A. Vaz Pires. 2021. Low doses of monensin for lambs fed diets containing high levels of ground flint corn. *Sci. Agric.* 78:e20190263. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0263>.
- Purwar, V., P. S. Oberoi, & A. K. Dang. 2017. Effect of feed supplement and additives on stress mitigation in Karan Fries heifers. *Vet. World.* 10:1407-1412. doi: 10.14202/vetworld.2017.1407-1412.
- Ramanzin, M., L. Bailoni, S. Schiavon, & G. Bittante. 1997. Effect of monensin on milk production and efficiency of dairy cows fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *J. Dairy Sci.* 80:1136-1142. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76040-5).
- Ramdani, D., E. Yuniarti, A. Jayanegara, & A. S. Chaudhry. 2023. Roles of essential oils, polyphenols, and saponins of medicinal plants as natural additives and anthelmintics in ruminant diets: A Systematic Review. *Animals.* 13:767. <https://doi.org/10.3390/ani13040767>.
- Ratika, K. & J. R. K. Singh. 2018. Plant derived essential oil in ruminant nutrition - A Review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7:1747-1753. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.203>.
- Reddish, M. A. & L. Kung Jr. 2007. The effect of feeding a dry enzyme mixture with fibrolytic activity on the performance of lactating cows and digestibility of a diet for sheep. *J. Dairy Sci.* 90:4724-4729. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0269>.
- Ribeiro, B. S., M. D. F. Ferreira, J. L. Moreira, & L. Santos. 2021. Simultaneous distillation-extraction of essential oils from *Rosmarinus officinalis* L. *Cosmetics.* 8:117. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040117>.
- Russell, J. B. & H. J. Strobel. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1-6. doi: 10.1128/aem.55.1.1-6.1989.
- Russell, J. B. & A. J. Houlihan. 2003. Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. *FEMS Microbiol. Reviews.* 27:65-74. DOI: 10.1016/S0168-445(03)00019-6
- Saadoun, J. H., A. Ricci, M. Cirilini, E. Bancalari, V. Bernini, G. Galaverna, E. Neviani, & C. Lazzi. 2021. Production and recovery of volatile compounds from fermented fruit by-products with *Lactocaseibacillus rhamnosus*. *Food Bioproducts Processing.* 128:215-226. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.06.002>.
- Saha, S. K. & N. N. Pathak. 2021. Use of Feed Additives on Livestock Production. In book: S. K. Saha, & N. N. Pathak (eds). *Fundamentals of Animal Nutrition*. DOI:10.1007/978-981-15-9125-9_13.
- Salami, S. A., A. Guinguina, J. O. Agboola, A. A. Omede, E. M. Agbonlahor, & U. Tayyab. 2016. Review: In vivo and postmortem effects of feed antioxidants in livestock: A Review of the implications on authorization of antioxidant feed additives. *Animal.* 10:1375-1390. doi:10.1017/S1751731115002967.
- Salem, A. Z. M., M. El-Adawy, H. Gado, L. M. Camacho, M. González-Ronquillo, H. Alsersy, & B. Borhami. 2011. Effects of exogenous enzymes on nutrients digestibility and growth performance in sheep and goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 14:867-874.
- Sales, V. D. S., Á. B. Monteiro, G. A. Delmondes, E. P. do Nascimento, F. R. Sobreira Dantas Nóbrega de Figueiredo, C. K. de Souza Rodrigues, J. F. Evangelista de Lacerda, C. N. Fernandes, M. O. Barbosa, A. X. Brasil, S. R. Tintino, M. C. Vega Gomez, C. Coronel, H. D. Melo Coutinho, J. G. Martins da Costa, C. F. Bezerra Felipe, I. R. Alencar de Menezes, & M. R. Kerntopf. 2018. Antiparasitic activity and essential oil chemical analysis of the *Piper Tuberculatum* Jacq Fruit. *Iran J. Pharm. Res.* 17:268-275.
- Santos Magaço, F. D., C. E. Silva Freitas, A. A. de Moura Freitas, V. S. Martins Junior, A. F. F. Dos Santos, M. L. A. Pereira, & E. R. Duarte. 2020. Productive performance and economic profit of weaned lambs supplemented with a

- Trichoderma longibrachiatum* strain isolated from sheep. *Int. J. Anim. Sci.* 4:6.
- Schären, M., C. Drong, K. Kiri, S. Riede, M. Gardener, U. Meyer, J. Hummel, T. Urich, G. Breves, & S. Dänicke. 2017. Differential effects of monensin and a blend of essential oils on rumen microbiota composition of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:2765–2783. doi: 10.3168/jds.2016-11994.
- Schebesta, H. & J. J. L. Candel. 2020. Game-changing potential of the EU's Farm to Fork Strategy. *Nat Food.* 1:586–588. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00166-9>.
- Simon, O., A. Jadamus, & W. Vahjen. 2001. Probiotic feed additives-effectiveness and expected modes of action. *J. Anim. Feed Sci.* 10 (Suppl. 1):51-67. <https://doi.org/10.22358/jafs/70012/2001>
- Starsmore, K., N. Lopez-Villalobos, L. Shalloo, M. Egan, J. Burke & B. Lahart. 2023. Animal factors that affect enteric methane production are measured using the greenfeed monitoring system in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23915>.
- Storm, I. M., A. L. Hellwing, N. I. Nielsen, & J. Madsen. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals (Basel)*. 2:160-83. doi: 10.3390/ani2020160.
- Sujani, S. & R. T. Seresinhe, 2015. Exogenous enzymes in ruminant nutrition: A Review. *Asian J. Anim. Sci.* 9:85-99. doi: 10.3923/jas.2015.85.99
- Sun, K., H. Liu, H. Fan, T. Liu, & C. Zheng. 2021a. Research progress on the application of feed additives in ruminal methane emission reduction: a review. *PeerJ.* 9:e11151. doi: 10.7717/peerj.11151.
- Sun, Y., M. E. Duarte, & S. W. Kim. 2021b. Dietary inclusion of multispecies probiotics to reduce the severity of post-weaning diarrhea caused by *Escherichia coli* F18+ in Pigs. *Anim. Nutr.* 7:326–333. DOI: 10.1016/j.aninu.2020.08.012.
- Sutton, J. D., R. H. Phipps, D. E. Beever, D. J. Humphries, G. F. Hartnell, J. L. Vicini, & D. L. Hard. 2003. Effect of method of application of a fibrolytic enzyme product on digestive processes and milk production in Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 86:546-556. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73633-9.
- Taye, D. & M. Etefa. 2020. Review on improving nutritive value of forage by applying exogenous enzymes. *Inter. J. Vet. Sci. Anim. Husbandry.* 5:72-79.
- Tedeschi, L. O., A. L. Abdalla, C. Álvarez, S. W. Anuga, J. Arango, K. A. Beauchemin, P. Becquet, A. Berndt, R. Burns, C. De Camillis, J. Chará, J. M. Echazarreta, M. Hassouna, D. Kenny, M. Mathot, R. M. Mauricio, S. C. McClelland, M. Niu, A. A. Onyango, R. Parajuli, L. G. R. Pereira, A. del Prado, M. P. Tieri, A. Uwizeye, & E. Kebreab. 2022. Quantification of methane emitted by ruminants: a review of methods. *J. Anim. Sci.* 100:skac197. <https://doi.org/10.1093/jas/skac197>.
- Tekeli, A., G. Yıldız, W. Drochner, & H. Steingass. 2017. Effects of essence oil additives added to different feeds on methane production. *Revista MVZ Córdoba.* 22:5854-5866. doi:10.21897/RMVZ.1023.
- Titi, H. H. 2003. Replacing soybean meal with sunflower meal with or without fibrolytic enzymes in fattening diets of goat kids. *Small Rumin. Res.* 48:45–50. doi: 10.1016/S0921-4488(03)00003-8.
- Tong, Z., W. He, X. Fan, & A. Guo. 2022. Biological function of plant tannin and its application in animal health. *Front Vet Sci.* 8:803657. doi: 10.3389/fvets.2021.803657.
- Torres, R. N. S., J. R. Paschoaloto, G. A. de Almeida Júnior, J. M. B. Ezequiel, L. de Melo Coelho, O. R. M. Neto, & M. T. C. Almeida. 2022. Meta-analysis to evaluate the effect of yeast as a feed additive on beef cattle performance and carcass traits. *Livestock Sci.* 260:104934. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104934>.
- Torres, N., G. D. Mendoza, J. R. Bárcena, S. S. González, O. Loera, A. Z. M. Salem, & A. Lara. 2013. Effect of a fibrolytic enzymatic extract from cellulomonas flavigena on in vitro degradation and in vivo digestibility and productive performance of lambs. *Anim. Nutr. Feed Technol.* 13:583-592.
- Tseten, T., R. A. Sanjorjo, M. Kwon, & S. W. Kim. 2022. Strategies to mitigate enteric methane emissions from ruminant animals. *J. Microbiol. Biotechnol.* 32:269–277. doi: 10.4014/jmb.2202.02019.
- Vazquez, A. P. 2016. Are superior probiotic feed-additives for poultry. *J. Bacteriol. Mycol.* 2:57-59. doi: 10.15406/jbmoo.2016.02.00023.
- Velázquez-De Lucio, B. S., E. M. Hernández-Domínguez, M. Villa-García, G. Díaz-Godínez, V. Mandujano-Gonzalez, B. Mendoza-Mendoza, & J. Álvarez-Cervantes. 2021.

- Exogenous enzymes as zootechnical additives in animal feed: A Review. *Catalysts*. 11:851. <https://doi.org/10.3390/catal11070851>.
- Vincent, U., F. Serano, M. J. de la Huebra, & C. von Holst 2012. Determination of semduramicin in poultry feed additive, premixture and compound feed by liquid chromatography and UV spectrophotometric detection after post-column derivatisation. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 61:150-155. doi: 10.1016/j.jpba.2011.11.017.
- Vohra, A., P. Syal, & A. Madan. 2016. Probiotic yeasts in the livestock sector. *Anim. Feed Sci. Technol.* 219: 31-47. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.019>
- Waghorn, G., W. Jones, I. Shelton, & W. McNabb. 1990. Condensed tannins and the nutritive value of herbage. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 51:171-176. DOI: <https://doi.org/10.33584/jnzg.1990.51.1894>.
- Wells, C. W. 2023. Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: A comprehensive review. *Anim. Nutr.* 16:1-10. doi: 10.1016/j.aninu.2023.05.017.
- Wells, C. W. 2024. Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: A comprehensive review. *Anim. Nutrition*. 16:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.017>.
- WHO, 2015. Biodiversity and Health. <https://www.who.int ›Newsroom ›Fact sheets ›Detail>.
- Wohlt, J. E., A. D. Finkelstein, & C. H. Chung. 1991. Yeast culture to improve intake, nutrient digestibility, and performance by cattle during early lactation. *J. Dairy Sci.* 74:1395. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78294-5.
- Wu, J., Y. Bai, X. Lang, C. Wang, X. Shi, D. P. Casper, L. Zhang, H. Liu, T. Liu, X. Gong, T. Liang, & R. Zhang. 2020. Dietary supplementation with oregano essential oil and monensin in combination is antagonistic to growth performance of yearling Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* 103:8119-8129 <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18211>.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, & L. M. Rode. 2000. A comparison of methods of adding fibrolytic enzymes to lactating cow diets. *J. Dairy Sci.* 83:2512-2520. doi: : 10.3168/jds.S00220302(00)75143-5.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, & L. M. Rode. 1999. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:391-403. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75245-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75245-8).
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, D. D. Vedres, G. R. Ghorbani, D. Colombatto, & D. P. Morgavi. 2004. Effects of direct-fed microbial supplementation on ruminal acidosis, digestibility, and bacterial protein synthesis in continuous culture. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114:179-193. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.010>.
- Yang, S. & K. Carlson. 2004. Routine monitoring of antibiotics in water and wastewater with a radioimmunoassay technique. *Water Res.* 38:3155-3166. doi:10.1016/j.watres.2004.04. 028.
- Yang, W. Z. & M. L. He. 2016. Effects of feeding garlic and juniper berry essential oils on milk fatty acid composition of dairy cows. *Nutrition and Metabolic Insights*. 9. doi:10.4137/NMI.S33395.
- Yanza, Y. R., A. Fitri., B. Suwignyo., Elfahmi., N. Hidayatik., N. R. Kumalasari., A. Irawan, & A. Jayanegara. 2021. The utilisation of tannin extract as a dietary additive in ruminant nutrition: A Meta-Analysis. *Animals (Basel)*. 11:3317. doi: 10.3390/ani11113317.
- Zeng, Z., S. Zhang, H. Wang, & X. Piao. 2015. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:1-10. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0004-5>.