دامستیک؛ دوره ۲۵، شماره ۳ (شماره ۳۴ پیاپی): ۵۸–۴۸

نشریهٔ علمی– ترویجی (حرفه‌ای)

دامِستیک

انجمن علمی- دانشجویی گروه مهندسی علوم دامی دانشگاه تهران؛ پاییز ۱۴۰۴

https://domesticsj.ut.ac.ir/article_107006.html

مقاله علمی– ترویجی

مروری بر افزودنی نوظهور پسابیوتیک‌ها و اثرات فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و ژنتیکی آن‌ها در دام و طیور

زهرا رضائی[۱]، رضا فرجی[۲*] و آرمین توحیدی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی دام، گروه مهندسی علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، البرز، کرج، ایران

[۲] فارغ‌التحصیل دکتری تخصصی ژنتیک دام، گروه مهندسی علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، البرز، کرج، ایران

[۳] استاد فیزیولوژی دام، گروه مهندسی علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران

https://doi.org/10.22059/domesticsj.2025.395745.1196

چکیده

طبق تعریف انجمن علمی بین‌المللی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها (International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics) در سال ۲۰۱۹، پسابیوتیک‌ها شامل میکروارگانیسم‌های غیرزنده و یا اجزای آن‌ها هستند که اثرات مفیدی بر سلامت میزبان دارند و نسبت به پروبیوتیک‌ها مزایای متعددی دارند. این ترکیبات شامل متابولیت‌هایی نظیر اسیدهای چرب کوتاه زنجیر، اجزای دیواره سلولی و ترکیبات ضد میکروبی هستند که از طریق بهبود سلامت روده، تقویت سیستم ایمنی و تنظیم بیان ژن‌ها، عملکرد حیوانات را ارتقا می‌دهند. در گاو شیری، پسابیوتیک‌ها با کاهش شیوع بیماری‌های متابولیکی مانند کتوز و بیماری‌های عفونی مانند ورم‌پستان، افزایش تولید شیر و بهبود کیفیت آن را به دنبال دارند. این مطالعهٔ علمی- ترویجی با تمرکز بر مطالعات چندین سال اخیر و با استناد به منابع متعدد بین‌المللی، به بررسی جامع اثرات پسابیوتیک‌ها بر فیزیولوژی، تغذیه و ژنتیک گاوهای شیری و سایر حیوانات مزرعه‌ای می‌پردازد. در طیور پسابیوتیک‌ها باکتری‌های *انتروباکتریاسه* و *E. Coli* را کاهش داده و pH سکوم را پایین آوردند و در مرغ‌های تخم‌گذار، کیفیت تخم‌مرغ و تولید روزانه را افزایش دادند. از لحاظ اپی‌ژنتیکی نیز مطالعات نشان می‌دهند مصرف پسابیوتیک‌ها در دام و طیور با تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با مسیرهای ایمنی، التهابی و متابولیک همراه است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که مصرف پسابیوتیک‌ها غالباً به افزایش مصرف خوراک، بهبود هضم مواد مغذی، تقویت شاخص‌های ایمنی از جمله افزایش ایمنوگلوبولین‌ها و بهبود عملکرد تولیدی نظیر تولید و کیفیت شیر منجر می‌شود.

کلمات کلیدی: اپی‌ژنتیک، پسابیوتیک‌ها، تغذیه، فیزیولوژی، گاو شیری

***نویسنده مسئول:** reza.faraji@ut.ac.ir

بخش: فیزیولوژی دام و طیور **دبیر تخصصی:** دکتر افشین سیفی جمادی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۴/۲۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۵/۲۸ **تاریخ انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۹/۲۰

رفرنس‌دهی: رضائی، ز.، فرجی، ر.، توحیدی، آ. مروری بر افزودنی نوظهور پسابیوتیک‌ها و اثرات فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و ژنتیکی آن‌ها در دام و طیور. *علمی- ترویجی (حرفه‌ای) دامِستیک*، ۱۴۰۴؛ ۲۵(۳): ۵۸-۴۸.

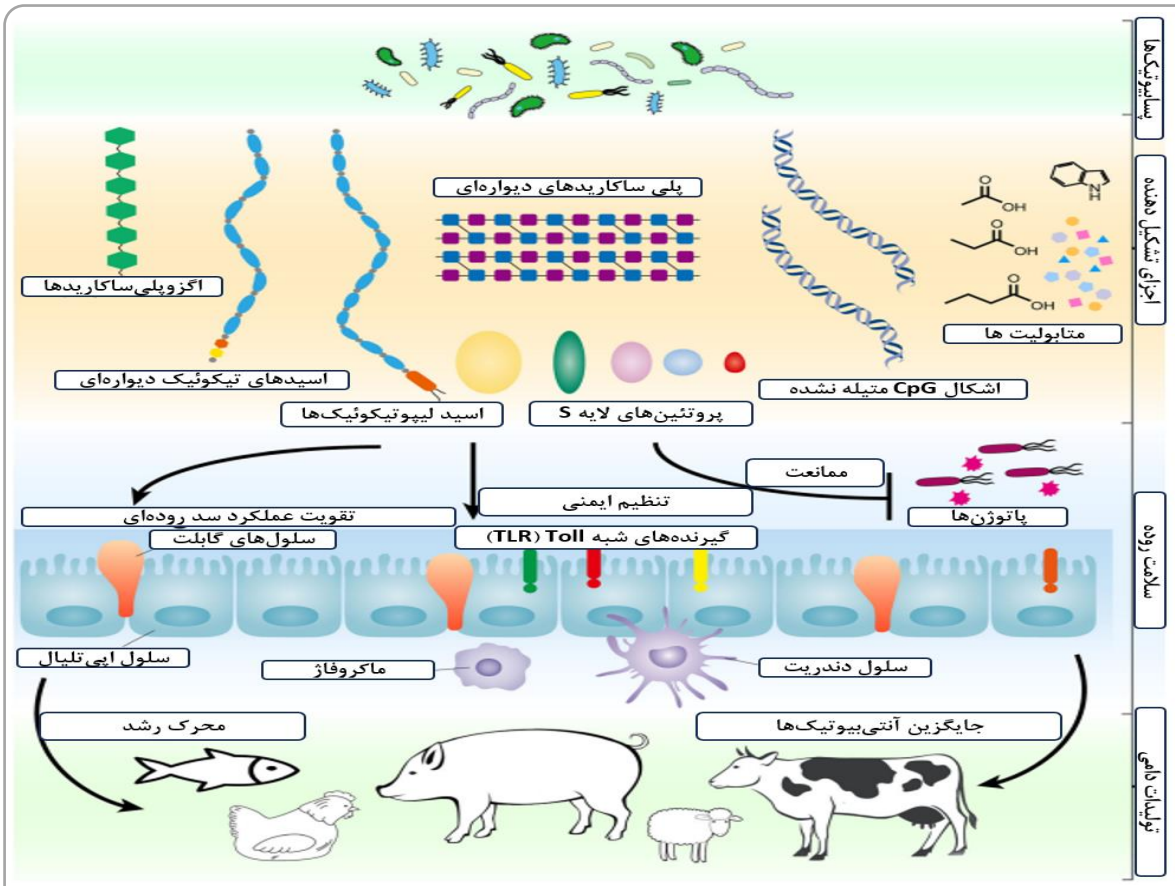
مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت جهانی و نیاز به بهبود کارایی تولید در بخش کشاورزی، استفاده از بیوتیک‌ها به عنوان افزودنی‌های ایمن و پایدار برای ارتقای سلامت و بهره‌وری دام مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، استفاده از افزودنی‌های خوراکی نوین مانند پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها و پسابیوتیک‌ها به منظور کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها و بهبود عملکرد دام‌ها، به ویژه در گاوهای شیری، روند رو به رشدی داشته است. از طرفی اهمیت جمعیت میکروبی روده در سلامت و کارایی تولیدی دام‌ها به خوبی مشخص شده است و از سوی دیگر، با ممنوعیت مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان محرک رشد در خوراک دام (از حدود ۲۰ سال پیش)، نیاز به جایگزین‌های طبیعی برای حفظ سلامت و تولید دام افزایش یافته است (Şanlı, 2024). پروبیوتیک‌ها ابتدا به عنوان موادی توصیف شدند که سلامت بیماران دچار سوء تغذیه را بهبود می‌بخشیدند. در سال ۲۰۱۴، سازمان بهداشت جهانی و سازمان غذا و کشاورزی، پروبیوتیک‌ها را به عنوان" میکروارگانیسم‌های زنده‌ای که در صورت تجویز به مقدار کافی، برای میزبان فواید سلامتی به همراه دارند" تعریف کردند (Hill *et al.*, 2014). تأثیر پروبیوتیک‌ها منوط به مفید بودن برای میزبان، غیربیماری‌زا و غیر سمی بودن، حائز مقاومت در محیط روده و امکان استقرار مؤثر در دستگاه گوارش می‌باشد (Fuller and Fuller, 1992). Gibson و Roberfroid مفاهیم پری‌بیوتیک را در سال ۱۹۹۵ معرفی کردند و آن‌ها را به عنوان مواد غذایی غیرقابل هضم تعریف کردند که به طور انتخابی رشد و فعالیت میکروب‌های خاص در روده را تحریک می‌کنند (Gibson and Roberfroid, 1995). انجمن علمی بین‌المللی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها (ISAPP) بعداً پری‌بیوتیک‌ها را به عنوان ماده اولیه‌ای که به صورت انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرد و فوایدی برای سلامتی به همراه دارد تعریف کرد (Gibson *et al.*, 2017). پری‌بیوتیک‌ها باید در برابر اسیدیته معده مقاومت کنند، تخمیر توسط میکروب‌های مفید را تقویت کرده و به طور انتخابی رشد باکتری‌های مفید روده را تحریک کنند (Callaway and Ricke, 2012).

سین‌بیوتیک‌ها نیز، که ترکیبی از پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها هستند، در سال ۱۹۹۵ توسط Gibson و Roberfroid نیز تعریف شدند. ISAPP این تعریف را در سال ۲۰۱۹ به مخلوطی شامل میکروارگانیسم‌های زنده و مواد اولیه که به صورت انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای میزبان فواید سلامتی دارند، به‌روزرسانی کرد. بنابراین، سین‌بیوتیک‌ها باید مزایای برتری نسبت به پروبیوتیک‌ها یا پری‌بیوتیک‌های منفرد نشان دهند (Swanson *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای که اخیراً توسط Pimentel و همکاران انجام شده است، اصطلاح "پسابیوتیک‌ها" معرفی شد (Pimentel *et al.*, 2023). برخلاف پروبیوتیک‌ها، پسابیوتیک‌ها شامل عناصر میکروبی غیرزنده مانند باقیمانده‌های تجزیه سلولی، بخش‌های میکروبی یا سلول‌های میکروبی غیرزنده هستند. شکل غیرفعال پسابیوتیک‌ها پایداری بهتری را فراهم می‌کند و ماندگاری آن‌ها را افزایش می‌دهد (Salminen *et al.*, 2021).

پسابیوتیک‌ها بر اساس تعریف ISAPP (۲۰۲۱)، به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) متابولیت‌های باکتریایی شامل اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (SCFAs)، ویتامین‌ها (B2, B12, K) و آنزیم‌ها؛ (۲) اجزای ساختاری سلولی مانند پپتیدوگلیکان‌ها، لیپوپلی‌ساکاریدها (LPS) و اگزوساکاریدها؛ (۳) ترکیبات ضدمیکروبی: شامل باکتریوسین‌ها (مثل نیسین) و پپتیدهای ضد قارچ (Swanson *et al.*, 2020). منابع اصلی تولید پسابیوتیک‌ها، باکتری‌های اسیدلاکتیک نظیر لاکتوباسیلوس کازئی (*Lacticaseibacillus casei*) و بیفیدوباکتریوم (*Bifidobacterium*) و مخمرها مانند ساکارومایسس بولاردی (*Saccharomyces boulardii*) هستند (Marco *et al.*, 2006).

پسابیوتیک‌ها به دلیل پایداری در شرایط محیطی (به دلیل غیر زنده بودن: عدم حساسیت به محیط، عدم امکان انتقال مواد ژنی نامطلوب به جمعیت‌های ثانوی و امکان کنترل دوز و مقدار مشخص)، عدم نیاز به نگهداری خاص و اثربخشی قابل مقایسه با پروبیوتیک‌ها و این که خطرات ناشی از انتقال ژن مقاومتی یا فساد در فرآیند تولید را ندارند به عنوان یک راهکار پایدار در صنعت دامپروری معرفی شده‌اند (Thanh *et al.*, 2009). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که این ترکیبات علاوه بر تأثیر بر سلامت روده و ایمنی، از طریق مکانیسم‌های اپی‌ژنتیکی، بیان ژن‌های مرتبط با تولید شیر و متابولیسم انرژی را تنظیم می‌کنند (Bron *et al.*, 2012; Izuddin *et al.*, 2019a). اپی‌ژنتیک به مطالعهٔ تغییراتی در فعالیت ژن‌ها گفته می‌شود که بدون تغییر در توالی DNA رخ می‌دهند. به عبارت دیگر، این علم بررسی می‌کند که چگونه عوامل محیطی و تجربیات فردی می‌توانند بر نحوهٔ بیان ژن‌ها تأثیر بگذارند، بدون این که ژن‌های فرد تغییر کنند (Felsenfeld, 2014).



شکل ۱- ترکیبات مفید و مکانیسم‌های بالقوه پسابیوتیک‌ها در سلامت روده و تولید دام. ترکیبات پسابیوتیکی، شامل پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی، اسیدهای تیکوئیک دیواره‌ای، اسیدهای لیپوتیکوئیک، پلی‌ساکاریدهای دیواره‌ای، پروتئین‌های لایه S، اشکال CpG غیرمتیله و متابولیت‌ها، اثرات مفیدی بر سلامت روده اعمال می‌کنند، عمدتاً از طریق مهار پاتوژن‌ها، تقویت عملکرد سد روده‌ای و مکانیسم‌های تنظیم ایمنی. پسابیوتیک‌ها می‌توانند به عنوان محرک رشد و جایگزینی برای آنتی‌بیوتیک‌ها در تولید دام مورد استفاده قرار گیرند (Zhong *et al.*, 2022b).

ایمنی پروبیوتیک‌ها با استفاده زیاد از آن‌ها مرتبط است. در حالی که مطالعات زیادی در مورد این موضوع گزارش نشده است، امّا ریسک خطرات ذاتی پروبیوتیک‌ها در مورد ایجاد پایداری ژنتیکی، عفونت‌زا بودن یا حتی تولید سم در میزبان وجود خواهد داشت (Guo *et al.*, 2020). پسابیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های بی‌جان یا محصول آن‌ها هستند که توانایی تکثیر یا تولید را از دست داده‌اند و ممکن است نگرانی های مذکور را نداشته باشند، امّا با این حال، ریسک کمتر استفاده از پسابیوتیک‌ها به معنی کاملاً بی‌خطر بودن آن‌ها نیست. ممکن است متابولیت‌ها یا مواد سمی خاصی از باکتری‌های مرده آزاد شوند، که هنوز نیاز به بررسی بیشتر دارد (Periti and Mazzei, 1998). این مطالعه با مرور مقالات منتشر شده در مجلات معتبر بین‌المللی، به تحلیل و تفسیر نقش پسابیوتیک‌ها در گاو شیری و سایر گونه‌های حیوانی می‌پردازد. شکل (۱) به صورت شماتیک اثرات شناخته شده پسابیوتیک‌ها در بهبود سلامت و ایمنی گوارشی دام را نشان می‌دهد.

سازوکار اثرگذاری پسابیوتیک‌ها

عملکرد پسابیوتیک‌ها به طور عمده از طریق تأثیر بر جمعیت میکروبی و ساختار شیمیایی دستگاه گوارش دام است (Ruas-Madiedo and Reyes-Gavilán, 2005). مطالعات نشان داده‌اند ترکیبات پسابیوتیکی از طریق سه مکانیسم اصلی شامل مهار میکروب‌های بیماری‌زا (Ghrairi *et al.*, 2019)، تقویت سد روده‌ای (Majee *et al.*, 2017) و تنظیم سیستم ایمنی میزبان (Górska *et al.*, 2016) اثر می‌کنند. به طور خاص، ترکیباتی مانند اگزوپلی‌ساکاریدها (*Exopolysaccharides*) و اسیدهای تیکوئیک می‌توانند توان رقابتی پاتوژن‌ها را کاهش دهند و با اتصال به سطح اپی‌تلیوم روده و فعال‌سازی گیرنده‌های TLR پاسخ ایمنی موضعی را بهبود بخشند (Oerlemans *et al.*, 2021). همچنین پپتیدهای ضدباکتری تولید شده یا ترشح سموم ناشی از تجزیه سلولی پروبیوتیک‌ها به جلوگیری از چسبندگی و رشد پاتوژن‌هایی مانند *Listeria* و *Staphylococcus aureus* کمک می‌کند. از سوی دیگر، برخی متابولیت‌های پسابیوتیکی مانند

اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (SCFA) نظیر بوتیرات، با تقویت بیان ژن‌های محافظتی اپی‌تلیوم روده و افزایش تولید موکوس و پروتئین‌های ترمیم‌کننده، به تقویت سد روده‌ای کمک می‌کنند (Zhou *et al.*, 2017). در مجموع، با ترکیب این مکانیسم‌ها پسابیوتیک‌ها سلامت دستگاه گوارش را بهبود داده و زمینه را برای رشد کلونی‌های باکتری‌های مفید و بهینه شدن محیط روده فراهم می‌کنند (Seth and Taga, 2014).

اثرات فیزیولوژیکی پسابیوتیک‌ها

بهبود سلامت دستگاه گوارش

۱- دام

در گوساله‌ها نشان داده شده است که افزایش غلظت بوتیرات در شکمبه، به رشد اپی‌تلیوم شکمبه و بهبود عملکرد گوارشی کمک می‌کند (Xiao *et al.*, 2016). مطالعه‌ای روی گوساله‌ها نشان داد که ترکیبات پسابیوتیک می‌توانند باعث کاهش قابل توجه علائم اسهال و بهبود سلامت روده و نمرات مدفوعی (Faecal Scores) شوند (Alugongo *et al.*, 2017). همچنین در مطالعات دیگری مصرف مکمل پسابیوتیک در دورهٔ انتقال (۳ هفته قبل تا ۲ ماه پس از زایش) سبب افزایش مصرف ماده خشک و بهبود هضم فیبر می‌شود (Vicente *et al.*, 2024). افزون بر این موارد، پسابیوتیک‌ها حتی در شرایط تنش‌های محیطی نیز اثرات محافظتی دارند؛ برای مثال، یک مطالعه نشان داد که افزودن پسابیوتیک حاصل از قارچ *Aspergillus oryzae* موجب کاهش التهاب مزمن ناشی از تنش گرمایی و بهبود سلامت کبد و روده در گاوها شده است (Kaufman *et al.*, 2021). مشخص شده است که اگزوپلی‌ساکاریدها، پلیمرهای کربوهیدراتی با وزن مولکولی بالا هستند که توسط میکروارگانیسم‌هایی مانند *Lactobacillus*، *Bifidobacterium* و *Streptococcus* تولید می‌شوند. این ترکیبات به عنوان مانعی محافظتی در برابر عوامل بیماری‌زا و دارای خواص ضدمیکروبی، ضدالتهابی و تنظیم‌کننده ایمنی عمل کرده و از چسبندگی باکتری‌های بیماری‌زا به اپی‌تلیوم روده جلوگیری می‌کنند (J. Kaufman *et al.*, 2021).

در گاوهای گوشتی پروبیوتیک‌های مبتنی بر باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) مانند *Lactobacillus* و *Enterococcus faecium* در کاهش پاتوژن‌هایی مانند *Escherichia coli* و *Salmonella* در مدفوع گاوها مؤثر هستند (Mansilla *et al.*, 2023). در شکمبه، باکتری‌های هضم‌کنندهٔ سلولز، باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) و باکتری‌های مصرف‌کننده لاکتات (LUB)به طور ویژه توسط مصرف پروبیوتیک‌ها تحریک می‌شوند که می‌تواند به کاهش خطر اسیدوز و بر هم خوردن تعادل میکروبی در شکمبه کمک کند (Retta, 2016). سین‌بیوتیک‌ها، که پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها را ترکیب می‌کنند، به صورت هم‌افزایی برای بهبود تنوع میکروبی و کلونیزاسیون در شکمبه و دستگاه گوارش عمل می‌کنند. علاوه بر این، پسابیوتیک‌های حاوی مولکول‌های زیست‌فعال، مانند اگزوپلی‌ساکاریدها، اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، آنزیم‌ها، مواد رویی بدون سلول، قطعات دیواره سلولی و محصولات تجزیه باکتریایی، با تحریک فعالیت جمعیت میکروبی، افزایش سنتز ایمونوگلوبولین‌ها، افزایش فعالیت ماکروفاژها و لنفوسیت‌ها، مهار عوامل بیماری‌زا و تقویت سد روده‌ای، به سلامت بهتر حیوان کمک می‌کنند (Liu *et al.*, 2023). در واقع، اثرات مفید بر سلامت شکمبه و روده، تولید اسیدهای چرب فرار (VFA) را بهینه می‌کند، قابلیت هضم را بهبود می‌بخشد، ایمنی را افزایش می‌دهد و التهاب را کاهش می‌دهد، که در مجموع باعث بهبود راندمان خوراک، استفاده از مواد مغذی و رشد بالقوه حیوان می‌شود (Sousa *et al.*, 2018; Uyeno *et al.*, 2015).

۲- طیور

در طیور نیز پسابیوتیک *Bacillus subtilis* و ترکیبی از *Pediococcus acidilactici*، *Lactobacillus reuteri* و *Enterococcus faecium* پاسخ‌های ایمنی را تقویت کرده و التهاب ناشی از باکتری *Clostridium perfringens* را کاهش دادند (Johnson *et al.*, 2019). در تحقیقاتی دیگر متابولیت‌های *لاکتوباسیلوس پلانتاروم RI11* وزن نهایی، افزایش وزن روزانه، و کارایی خوراک را در جوجه‌های گوشتی بهبود بخشید. این پسابیوتیک‌ها باکتری‌های *انتروباکتریاسه* و *E. coli* را کاهش داده و pH سکوم را پایین آوردند و در مرغ‌های تخم‌گذار، کیفیت تخم‌مرغ و تولید روزانه را افزایش دادند (Zhong *et al.*, 2022a). افزایش ارتفاع پرز و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در گروه‌های پسابیوتیک نشان‌دهنده بهبود سلامت روده و ظرفیت جذب مواد مغذی است. این اثر می‌تواند به دلیل کاهش پاتوژن‌ها و افزایش باکتری‌های مفید باشد که از آسیب به مخاط روده جلوگیری می‌کنند (Xu *et al.*, 2003). پسابیوتیک‌ها با افزایش جمعیت باکتری‌های مفید (*لاکتوباسیلوس* و *بیفیدوباکتریوم*) و کاهش پاتوژن‌ها (*انتروباکتریاسه*، *اشرشیا کلی* و *سالمونلا*) تعادل میکروبیوتای روده را بهبود می‌بخشند (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018). کاهش pH سکوم به دلیل تولید اسیدهای آلی و

باکتریوسین‌ها توسط پسابیوتیک‌ها، محیط نامناسبی برای رشد پاتوژن‌ها ایجاد کرد (Loh *et al.*, 2013).

۳- سایر حیوانات

مطالعات متعدد در سایر حیوانات نشان داده است که پسابیوتیک‌ها با افزایش بیان پروتئین‌های اتصال محکم (مانند ZO-1 و اوکلودین) و کاهش نفوذپذیری روده، یکپارچگی سد روده‌ای را تقویت می‌کنند. همچنین اسیدهای چرب کوتاه زنجیر از طریق مسیرهای سیگنالینگ AKT و EGFR باعث بهبود اتصالات محکم و تحریک تولید موکوس (MUC2) می‌شوند. به عنوان مثال پروتئین HM0539 از *Lactobacillus rhamnosus* GG بیان موکوس را افزایش داده و از آسیب روده‌ای ناشی از لیپوپلی‌ساکارید یا فاکتور نکروز تومور آلفا جلوگیری می‌کند (Zhong *et al.*, 2022a). در خوکچه‌های شیرخوار، مصرف پسابیوتیک حاوی باکتری *Enterococcus faecalis* منجر به افزایش ارتفاع پرزهای روده (ویلی‌های روده باریک) گردید که حاکی از بهبود مورفولوژی روده و کاهش استرس ناشی از دمای ماقبل شیرخوارگی بود. افزودن پسابیوتیک‌های لاکتوباسیلوس رامنوسوس (۱×۹۸۱۰ CFU/g) به رژیم غذایی خوک‌های تازه از شیر گرفته‌شده باعث افزایش نرخ رشد، کارایی خوراک، و هضم ماده خشک شد. این پسابیوتیک‌ها نرخ اسهال پس از شیرگیری را کاهش داده و سطوح TNF-α، TGF-β1، و کورتیزول را در سرم پایین آوردند. متابولیت‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم باعث افزایش ارتفاع پرزهای دوازدهه و کاهش باکتری‌های انتروباکتریاسه شد (Zhong *et al.*, 2022a).

تعدیل سیستم ایمنی

ترکیبات دیواره سلولی مخمرها (مانند β-گلوکان‌ها) با فعال‌سازی ماکروفاژها و افزایش تولید ایمونوگلوبولین A (IgA)، پاسخ ایمنی مخاطی را تقویت می‌کنند. در مطالعه‌ای که روی گاوهای مبتلا به ورم‌پستان انجام شده بود، گزارش شده است که پسابیوتیک‌ها شمار سلول‌های سوماتیک شیر را ۲۰ درصد کاهش دادند (Pedro *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای روی بره‌های شیرخوار گزارش شده است که پسابیوتیک‌ها فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گلوتاتیون پراکسیداز را در سرم و مایع شکمبه افزایش داده و سطح پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داده‌اند. همچنین، بیان ژن‌های مرتبط با سد روده‌ای مانند *Claudin-1* و *Occludin* افزایش یافته است، که نشان‌دهندهٔ تقویت عملکرد سد روده‌ای است (*Izuddin et al.*, 2020). در طول دوره‌های استرس‌زا، تجویز پروبیوتیک‌ها نتایج مثبتی در بهبود امتیاز مدفوع و کاهش عوامل بیماری‌زای روده نشان داده است که بر میزان ابتلا و مرگ و میر حیوانات تأثیر می‌گذارد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که مخلوط باکتری‌های اسید لاکتیک عملکرد گوساله‌ها را بهبود می‌بخشد (Bettini *et al.*, 2025; Kelsey and Colpoys, 2018). در مطالعهٔ دیگری که انجام شده است کاهش قابل توجهی در تعداد *E.coli* مدفوع گاوها با استفاده از سویه‌های مختلف باکتری‌های اسید لاکتیک مشاهده شد (Mansilla *et al.*, 2023). طبق گزارش Górka و همکاران نیز به طور خاص، *Ruminococcaceae* و *Lachnospiraceae* عوامل کلیدی در تجزیه پلی‌ساکاریدهای پیچیده و تولید بوتیرات، یک عامل ضد التهابی و منبع انرژی برای سلول‌های اپی‌تلیوم روده هستند (Górka et al., 2018) و مشابه آن‌ها بیفیدوباکتریاسه‌ها از هموستاز روده و مقاومت در برابر پاتوژن‌ها پشتیبانی می‌کنند، در حالی که لاکتوباسیلوس‌ها با تنظیم pH روده، جمعیت میکروبی متعادل را تقویت می‌کنند (McDaniel, 2009). در مطالعه‌ای که توسط تیم تحقیقاتی دیگری روی ژن *S rRNA*۱۶ بارکدگذاری شده انجام شد؛ هیچ گونه حضور *سالمونلا* در روده گوساله‌های گوشتی تیمار شده با ساکارومایسزسرویزیه نشان داده نشد و نویسندگان این خاصیت ضدمیکروبی را به الیگوساکاریدهای مانان (MOS) تولید شده توسط *S. cerevisiae* نسبت دادند که می‌تواند به عنوان یک لیگاند با میل ترکیبی بالا عمل کند و به باکتری‌های گرم منفی متصل شود (Ogunade *et al.*, 2019). پسابیوتیک‌ها با افزایش سطح گلوتاتیون پراکسیداز (GPx) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، استرس اکسیداتیو ناشی از زایمان در گاوهای شیری را مهار می‌کنند. از طرفی DNA باکتریایی، به‌ویژه اشکال CpG غیرمتیله، از طریق مسیر TLR9-MyD88-NF-κB اثرات تنظیم‌کنندهٔ ایمنی دارد. این اشکال در باکتری‌هایی مانند بیفیدوباکتریوم لانگوم (*Bifidobacterium longum*) فراوان هستند و باعث کاهش سیتوکین‌های التهابی (مانند TNF-α و IL-6) و افزایش سیتوکین‌های ضدالتهابی (مانند IL-10) می‌شوند. از آنجا که متابولیت‌های پروبیوتیک‌ها شامل اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (SCFAs)، اسید لاکتیک و ویتامین‌ها هستند: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر مانند استات، پروپیونات، و بوتیرات با کاهش pH روده و اختلال در هموستاز pH داخل‌سلولی پاتوژن‌ها، از رشد آن‌ها جلوگیری می‌کنند. باکتریوسین‌ها پپتیدهای ضدمیکروبی هستند که علیه پاتوژن‌هایی مانند *E. coli* و *Enterococcus faecalis* مؤثر هستند و مایعات کشت عاری از سلول (CFS) حاوی متابولیت‌هایی هستند که اثرات ضدمیکروبی

و ضدالتهابی دارند (Zhong *et al.*, 2022a). مطالعه‌ای توسط Guoو همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که در گاوهای شیری دچار اسیدوز مزمن شکمبه (SARA)، تغذیه با پسابیوتیک‌های حاصل از تخمیر ساکارومایسزسرویزیه موجب پایداری بیشتر جامعه‌ی میکروبی شکمبه، افزایش جمعیت باکتری‌های تخمیرکنندهٔ اسید لاکتیک و فیبر و کاهش نوسانات جمعیتی شد (Guo *et al.*, 2024). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده است که استفاده از پسابیوتیک‌های SCFP در گاوهای شیری دوره‌ی انتقال، منجر به کاهش نشانگرهای التهابی مانند هاپتوگلوبین(HPT) ، IL-1β و SAA می‌شود. همچنین، سطح سرمی اسیدهای چرب غیراستریفه و مالون دی‌آلدئید کاهش یافت، که نشان‌دهندهٔ کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب بافتی است (Dai *et al.*, 2024).

اثرات تغذیه‌ای

شکمبه یک محفظه تخمیری بی‌هوازی با دمای حدود ۳۹ درجه سانتی‌گراد و pH بین ۵/۶ تا ۷ است که تحت تأثیر رژیم غذایی قرار می‌گیرد. رژیم‌های غلیظ غذایی با کاهش pH شکمبه منجر به اسیدوز می‌شوند که بر فعالیت میکروبی، عملکرد شکمبه و سلامت دام تأثیر می‌گذارد. بیوتیک‌ها با حمایت از رشد باکتری‌های هضم کننده فیبر و متابولیزه‌کننده لاکتات، از اسیدوز شکمبه جلوگیری کرده و تولید اسیدهای چرب فرار (استات، بوتیرات و پروپیونات) را افزایش می‌دهند (Reuben *et al.*, 2022). مطالعات نشان داده‌اند که ساکارومایسزسرویزیه باعث افزایش تولید استات و پروپیونات و کاهش نسبت استات به پروپیونات می‌شود، که به دلیل بهبود محیط برای باکتری‌های هضم کننده فیبر است (Zhang *et al.*, 2022). پروبیوتیک‌هایی مانند *Clostridium butyricum* باعث افزایش نسبت باکتری گرم مثبت *Firmicutes* به *Bacteroidota* (F/B) شده و کارایی جذب انرژی میکروبیوتا را بهبود می‌بخشند (Jiajun *et al.*, 2024). پسابیوتیک‌ها با افزایش جذب اسیدهای آمینه شاخه‌دار (BCAAs) و تحریک سنتز پروتئین شیر، تولید روزانه شیر را ۳-۲ کیلوگرم افزایش می‌دهند (Oyebade *et al.*, 2024). در طیور، پسابیوتیک RI11 به طور قابل توجهی عملکرد رشد را بهبود بخشید، که می‌تواند به دلیل خواص ضدباکتریایی و کاهش پاتوژن‌های روده‌ای باشد. این نتایج با مطالعات قبلی که بهبود عملکرد رشد را با پسابیوتیک‌ها یا پروبیوتیک‌ها گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. عدم تأثیر پسابیوتیک‌ها بر درصد اجزای لاشه با یافته‌های قبلی مبنی بر عدم تأثیر پروبیوتیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها بر بازده لاشه مطابقت داشته است (Humam *et al.*, 2019). مطالعه‌ای توسط Ibrahim و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که افزودن پست‌بیوتیک حاصل از *Lactobacillus plantarum RG14* به جیرهٔ بره‌های تازه از شیر گرفته‌شده، منجر به افزایش وزن‌گیری روزانه، بهبود هضم مواد مغذی و تقویت ساختار روده شد. همچنین، بیان ژن‌های مرتبط با رشد مانند IGF-1 افزایش یافت. همچنین در مورد بزهای شیری، Fernández و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که استفاده از پسابیوتیک مخمری (Probisan Ruminants)در روزهای پایانی دورهٔ شیردهی، منجر به افزایش تولید پروپیونات در شکمبه، بهبود هضم NDF، ADF و کاهش انتشار متان شد. همچنین، تولید شیر تصحیح‌شده از نظر چربی افزایش یافت (Fernández *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای که توسط Geng و همکاران (۲۰۱۸) روی تأثیر پسابیوتیک ساکارومایسزسرویزیه بر ۱۱۲ گوساله نر انجام شده بود، مشخص گردید که باعث افزایش اسید پالمتیک (C16:1n7) در پروفایل لیپیدی گوشت می‌شود که می‌تواند بر کیفیت تغذیه‌ای گوشت تأثیر مثبت بگذارد (Geng *et al.*, 2016).

اثرات ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی

۱- دام

مطالعات روی سازوکارهای اپی‌ژنتیکی پسابیوتیک‌ها در دام و طیور هنوز در مرحلهٔ ارتقا است، امّا شواهد نشان می‌دهد تغییرات در متیلاسیون DNA، حالت هیستون‌ها و بیان میکروRNAها نقش دارند. برای مثال، اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه (SCFA) مانند بوتیرات که از شکستن فیبرهای غذایی توسط میکروارگانیسم‌ها حاصل می‌شوند، به عنوان مهارکننده‌های HDAC شناخته شده‌اند. این ترکیبات با مهار HDAC موجب کاهش فعال‌شدن اینفلامزوم‌ها و کاهش بیان سایتوکین‌های التهابی (TNF-α, IL-6, IL-18) می‌شوند. بنابراین، بخشی از اثرات ضدالتهابی پسابیوتیک‌ها می‌تواند از طریق تغییرات هیستونی و دستکاری کروماتین باشد (Liu *et al.*, 2024). پیش از این نیز گزارش شده پسابیوتیک‌های مخمری (محصولات تخمیر ساکارومایسزسرویزیه معروف به SCF) بر ایمنی و بیان ژن‌های التهابی تأثیر قابل توجهی دارند. مثلاً در مطالعه‌ای بر روی گوساله‌های شیرخوار (پیش از نشخوار)، تغذیه با SCFP منجر به افزایش تولید IL-6 توسط سلول‌های خونی و کاهش ترشح TNF-α و IL-6 در سلول‌های برونکوآلوئلاری شد (Maina *et al.*, 2024). در یک مطالعهٔ مربوط به بیماری تنفسی دیگر، گوساله‌های تغذیه شده با SCFP پس از عفونت ویروسی،

بروز بیماری کمتری داشتند و بیان IL-6 و TNF-α در خون افزایش و در مایع برونکوآلوئلاری کاهش یافت و همزمان بیان IL-17 در T-Cellهای مسیر تنفس پایین آمد (Mahmoud *et al.*, 2020). همچنین نتایج حاصل از مطالعات درون‌تنی و برون‌تنی و مرورهای سیستمی اخیر نشان داده پسابیوتیک‌ها و مشتقات حاصل از آن‌ها از طریق تغییرات بیان ژن (مثلاً IGF-1، GHR)، آنتی‌اکسیدان‌ها و مسیرهای اپی‌ژنتیکی متیلاسیون DNA، تغییرات هیستونی، تغییرات میکروRNA و تغییرات در ساختار کروماتین نشانگر مزایایی چون افزایش مقاومت به پاتوژن‌ها، تقویت سد روده‌ای و تنظیم پاسخ ایمنی توسط پسابیوتیک‌ها هستند (Saeed *et al.*, 2023; Zhong *et al.*, 2022a). در مطالعه‌ای دیگر بر روی گاوهای شیری در اواسط دورهٔ شیردهی گزارش شده است که تغذیه با NTK (محصول تخمیر *S. cerevisiae*) قبل از درگیری ورم‌پستان *استرپتوکوکوس اوبریس* (*Streptococcus uberis*)، موجب افزایش بیان ژن‌های ضدباکتری (*CATHL4*, *NOS2*)، ژن محافظ اپی‌تلیال (*IL17C*) و ژن‌های ضدالتهاب (*ATF3*, *BAG3*, *IER3*, *G-CSF*) در پستان شد. این تغییرات ژنی با کاهش سریع‌تر سلول‌های سوماتیک و حفاظت از بافت پستان همراه بود (Vailati-Riboni *et al.*, 2021). تغذیهٔ بره‌های نوپا با پسابیوتیک حاصل *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (مخلوط متابولیت‌های سلول ازکارافتاده) بهبود رشد و ترکیب میکروبی و تغییرات ژنی را به همراه داشت (Izuddin *et al.*, 2019b). در یک مطالعهٔ درون‌تنی، مصرف پسابیوتیک RG14 سبب افزایش بیان mRNA ژن‌های رشد IGF-1 (در کبد) و MCT-1 (منتقل‌کننده اسیدهای چرب در اپی‌تلیوم شکمی) شد. در این مطالعه گزارش شده بود که وزن‌گیری و مصرف خوراک بره‌ها بهبود یافته است (Izuddin *et al.*, 2019b). در مطالعه‌ای دیگر، همان تیم گزارش داد که تغذیه با متابولیت‌های *L. plantarum* باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی خون و شکمبه و بالا رفتن بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی (*GPX1*, *GPX4*, *SOD1*) در کبد و نیز پروتئین‌های اتصالات محکم روده‌ای (*OCLN*, *CLDN1*, *CLDN4*, *TJP*) در بافت شکمبه می‌شود (Izuddin *et al.*, 2020).

۲- طیور

در طیور نیز مطالعات تغذیه‌ای نشان می‌دهند که پسابیوتیک‌های لاکتیکی می‌توانند بیان ژن‌های رشد و ایمنی در مرغ را تغییر دهند. برای مثال، در مرغ‌های گوشتی تحت استرس حرارتی، مصرف متابولیت‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم جمعیت (RI11 و UL4) موجب افزایش بیان mRNA، ژن IGF-1 و گیرنده هورمون رشد (GHR) در کبد شد (Humam *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای دیگر، پسابیوتیک RI11 سبب افزایش بیان سایتوکین ضدالتهاب IL-10 و پروتئین‌های پوششی اپی‌تلیوم روده مانند MUC2 و ZO-1 و کاهش بیان سایتوکین‌های پیش‌التهابی (IL-8, TNF-α) و پروتئین استرس HSP70 در روده شد (Humam *et al.*, 2020).

۳- سایر حیوانات

یک مطالعه درون‌تنی بر خوکچه‌های پس از شیرخوارگی نشان داد که افزودن پسابیوتیک مخمری (محصول تخمیر *S. cerevisiae*) به جیره موجب افزایش گرایش به بیان IFN-γ و mTORو کاهش بیان ژن‌های آپوپتوزی (مثل *BAX1*) در اپی‌تلیوم ژژنوم شد (Duarte and Kim, 2024). افزون بر این‌ها، تحریک اولیه سیستم ایمنی طیور با ترکیبات میکروبی (پروبیوتیک/پری‌بیوتیک) نشان داده است که منجر به افزایش متیلاسیون و خاموشی بیان ژن‌هایی *مانند* *SYK*, *ANGPTL4*, *TNFRSF14*, *CYR61* و *SERPING1* در پرزهای سکوم می‌شود. هر چند که این مطالعه خاص به پرو و پری‌بیوتیک مربوط است، امّا نشان می‌دهد که تماس با ترکیبات میکروبی می‌تواند از طریق تغییرات متیلاسیون DNA بر بیان ژن‌های ایمنی اثر بگذارد (Dunisławska *et al.*, 2023). به طور کلی نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهند که مصرف پسابیوتیک‌ها در دام و طیور با تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با مسیرهای ایمنی، التهابی و متابولیک همراه است. به عنوان مثال، افزایش بیان *IL-10* و کاهش در *TNF-α*, *IL-8* بیانگر تأثیر ضدالتهابی است؛ در حالی‌که افزایش بیان GHR و IGF-1 بر رشد تأثیر مثبت دارد. همان طور که گفته شد اثرات اپی‌ژنتیکی احتمالی پسابیوتیک‌ها (مانند تغییر متیلاسیون DNA و بیان میکرو RNA) هنوز به طور کامل در دام و طیور بررسی نشده است، امّا یافته‌های مشتق از تأثیرات ترکیبات باکتریایی و متابولیت‌های آن‌ها خبر از پتانسیل تغییرات اپی‌ژنتیکی در بافت‌های هدف می‌دهد (Humam *et al.*, 2020; Humam *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

به عنوان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت با توجه به افزایش نیاز روز افزون در تولیدات دامی از یک طرف و همچنین چالش‌های اقتصادی و لزوم افزایش بهره‌وری با ابزار علم و تکنولوژی‌های جدید بر اساس یافته‌های اخیر از سوی دیگر، پسابیوتیک‌ها با مکانیسم‌های چندوجهی (فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای

و ژنتیکی) به عنوان یک افزودنی امیدوارکننده و در عین حال عاری یا کمتر متأثر از اثرات جانبی منفی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها در تغذیهٔ گاو شیری و سایر حیوانات مزرعه‌ای شایان توجه و استفاده هستند (جدول ۱). امّا در عین حال با توجه به نوظهور بودن این محصول و کم بودن مطالعات آثار ناشناخته آن‌ها، پژوهش‌های بیشتری در این زمینه‌ها ضروری است: بررسی اثرات بلند مدت پسابیوتیک‌ها بر جمعیت میکروبی شکمبه و روده، ارزیابی تأثیر نژاد و ژنوتیپ دام‌ها بر پاسخ به پسابیوتیک‌ها و توسعه فرمولاسیون‌های ترکیبی پسابیوتیک با پری‌بیوتیک‌ها (سین‌بیوتیک‌ها).

جدول۱- خلاصه برخی مزایای استفاده از پسابیوتیک‌ها

حوزه عملکردی	مزیت پست‌بیوتیک‌ها نسبت به دیگران	منابع علمی
رشد و عملکرد	بهبود ADG در شرایط تنش، بدون نیاز به کلونیزاسیون میکروبی	Wan Ibrahim *et al.*, 2019
ایمنی	تنظیم دقیق‌تر پاسخ ایمنی و کاهش التهاب نسبت به پروبیوتیک‌ها	Zhong *et al.*, 2022
سلامت روده	افزایش لاکتوباسیل‌ها بدون خطر رشد پاتوژن‌های مقاوم	Zamojska *et al.*, 2022
تحمل حرارت	فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش α1-AGP	Loh *et al.*, 2020
ایمنی زیستی	بدون ریسک انتقال ژن مقاومت آنتی‌بیوتیکی	Zhong *et al.*, 2022

منابع

Aguilar-Toalá, J., Garcia-Varela, R., Garcia, H., Mata-Haro, V., González-Córdova, A., Vallejo-Cordoba, B., and Hernández-Mendoza, A. (2018). "Postbiotics: An evolving term within the functional foods field." *Trends in Food Science & Technology*, *75*, 105–114.

Alugongo, G., Xiao, J., Chung, Y., Dong, S., Li, S., Yoon, I., Wu, Z., and Cao, Z. (2017). "Effects of Saccharomyces cerevisiae fermentation products on dairy calves: Performance and health." *Journal of Dairy Science*, *100*(2), 1189–1199.

Bettini, S., Perini, F., Colombi, D., Ghilardi, M., Trabalza-Marinucci, M., and Lasagna, E. (2025). "Assessing the impact of biotics on the ruminal microbiome to enhance sustainability, welfare, and performance in beef cattle: highlighting the omics approach." *Italian Journal of Animal Science*, *24*(1), 660–676.

Bron, P. A., Tomita, S., van Swam, I. I., Remus, D. M., Meijerink, M., Wels, M., Okada, S., Wells, J. M., and Kleerebezem, M. (2012). "Lactobacillus plantarum possesses the capability for wall teichoic acid backbone alditol switching." *Microbial Cell Factories*, *11*, 1–15.

Callaway, T. R., and Ricke, S. C. (2012). "*Direct-fed microbials and prebiotics for animals*." Springer.

Dai, D., Kong, F., Han, H., Shi, W., Song, H., Yoon, I., Wang, S., Liu, X., Lu, N., and Wang, W. (2024). "Effects of postbiotic products from Saccharomyces cerevisiae fermentation on lactation performance, antioxidant capacity, and blood immunity in transition dairy cows." *Journal of Dairy Science*, *107*(12), 10584–10598.

Duarte, M. E., and Kim, S. W. (2024). "Efficacy of Saccharomyces yeast postbiotics on cell turnover, immune responses, and oxidative stress in the jejunal mucosa of young pigs." *Scientific reports*, *14*.

Dunisławska, A., Gryzińska, M., and Siwek, M. (2023). "Changes in the gene expression and methylation in chicken cecal tonsils after in ovo administration of bioactive substances. "*Scientific Reports*, *13*.

Felsenfeld, G. (2014). "A brief history of epigenetics." *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *6*(1), a018200.

Fernández, C., Romero, T., Badiola, I., Díaz-Cano, J., Sanzol, G., and Loor, J. J. (2022). "Postbiotic yeast fermentation product supplementation to lactating goats increases efficiency of milk production by enhancing fiber digestibility and ruminal propionate, and reducing energy losses in methane." *Journal of Animal Science*.

Fuller, R., and Fuller, R. (1992). "History and development of probiotics." *Probiotics: The Scientific Basis*, 1–8.

Geng, C., Meng, Q., Ren, L., Zhou, Z., Zhang, M., and Yan, C. (2016). "Comparison of ruminal fermentation parameters, fatty acid composition and flavour of beef in finishing bulls fed active dry yeast (Saccharomyces cerevisiae) and yeast culture." *Animal Production Science*, *58*(5), 841–847.

Ghrairi, T., Jaraud, S., Alves, A., Fleury, Y., El Salabi, A., and Chouchani, C. (2019). "New insights into and updates on antimicrobial agents from natural products." *BioMed Research International*, *2019*, 7079864.

Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., and Cani, P. D. (2017). "Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics." *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, *14*(8), 491-502.

Gibson, G. R., and Roberfroid, M. B. (1995). "Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics." *The Journal of Nutrition*, *125*(6), 1401–1412.

Górka, P., Kowalski, Z., Zabielski, R., and Guilloteau, P. (2018). "Invited review: Use of butyrate to promote gastrointestinal tract development in calves." *Journal of Dairy Science*, *101*(6), 4785–4800.

Górska, S., Sandström, C., Wojas-Turek, J., Rossowska, J., Pajtasz-Piasecka, E., Brzozowska, E., and Gamian, A (2016). "Structural and immunomodulatory differences among lactobacilli exopolysaccharides isolated from intestines of mice with experimentally induced inflammatory bowel disease." *Scientific Reports*, *6*(1), 37613.

Guo, J., Zhang, Z., Guan, L. L., Yoon, I., Plaizier, J. C., and Khafipour, E. (2024). "Postbiotics from Saccharomyces cerevisiae fermentation stabilize microbiota in rumen

Kaufman, J. D., Seidler, Y., Bailey, H. R., Whitacre, L. K., Bargo, F., Lüersen, K., Rimbach, G., Pighetti, G. M., Ipharraguerre, I. R., and Ríus, A. G. (2021). "A postbiotic from Aspergillus oryzae attenuates the impact of heat stress in ectothermic and endothermic organisms." *Scientific Reports*, *11*.

Kelsey, A. J., and Colpoys, J. D. (2018). "Effects of dietary probiotics on beef cattle performance and stress." *Journal of Veterinary Behavior*, *27*, 8–14.

Liu, C., Ma, N., Feng, Y., Zhou, M., Li, H., Zhang, X., and Ma, X. (2023). "From probiotics to postbiotics: Concepts and applications." *Animal Research and One Health*, *1*(1), 92–114.

Liu, H., Lu, H., Wang, Y., Yu, C., He, Z., and Dong, H. (2024). "Unlocking the power of short-chain fatty acids in ameliorating intestinal mucosal immunity: a new porcine nutritional approach." *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *14*.

Loh, T., Thanh, N., Foo, H., and Hair-Bejo, M. (2013). "Effects of feeding metabolite combinations from lactobacillus plantarum on plasma and breast meat lipids in Broiler Chickens." *Brazilian Journal of Poultry Science*, *15*, 307–316.

Mahmoud, A. H., Slate, J. R., Hong, S., Yoon, I., and McGill, J. L. (2020). "Supplementing a Saccharomyces cerevisiae fermentation product modulates innate immune function and ameliorates bovine respiratory syncytial virus infection in neonatal calves." *Journal of Animal Science*, *98*(8), skaa252.

Maina, T. W., McDonald, P. O., Samuel, B. E. R., Sardi, M. I., Yoon, I., Rogers, A., and McGill, J. L. (2024). "Feeding Saccharomyces cerevisiae fermentation postbiotic products alters immune function and the lung transcriptome of preweaning calves with an experimental viral-bacterial coinfection." *Journal of Dairy Science*, *107*(4), 2253–2267.

Majee, S. B., Avlani, D., and Biswas, G. R. (2017). "Rheological behavior and pharmaceutical applications of bacterial exopolysaccharides." *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *7*(9), 224–232.

Mansilla, F. I., Miranda, M. H., Uezen, J. D., Maldonado, N. C., Villar, M. A. U., Merino, L. A., Vignolo, G. M., and Nader-Macias, M. E. F. (2023). "Effect of probiotic lactobacilli supplementation on growth parameters, blood profile, productive performance, and fecal microbiology in feedlot cattle." *Research in Veterinary Science*, *155*, 76–87.

Marco, M. L., Pavan, S., and Kleerebezem, M. (2006). "Towards understanding molecular modes of probiotic action." *Current Opinion in Biotechnology*, *17*(2), 204–210.

McDaniel, M. R. (2009). "*The effects of dosing feedlot cattle with Megasphaera elsdenii strain NCIMB 41125 prior to the introduction of a grain-rich diet."* Kansas State University.

Oerlemans, M. M., Akkerman, R., Ferrari, M., Walvoort, M. T., and de Vos, P. (2021). "Benefits of bacteria-derived exopolysaccharides on gastrointestinal microbiota, immunity and health." *Journal of Functional Foods*, *76*, 104289.

Ogunade, I., Schweickart, H., McCoun, M., Cannon, K., and McManus, C. (2019). "Integrating 16S rRNA sequencing and LC–MS-based metabolomics to evaluate the effects of live yeast on rumen function in beef cattle." *Animals*, *9*(1), 28.

liquid digesta during grain-based subacute ruminal acidosis (SARA) in lactating dairy cows." *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 15(1), 101.

Guo, P., Zhang, K., Ma, X., and He, P. (2020). "Clostridium species as probiotics: potentials and challenges." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *11*, 1–10.

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., and Salminen, S. (2014). "The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic." *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 11(8), 506-514.

Humam, A. M., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., Izuddin, W. I., Zulkifli, I., Samsudin, A. A., and Mustapha, N. M. (2020). "Supplementation of postbiotic RI11 improves antioxidant enzyme activity, upregulated gut barrier genes, and reduced cytokine, acute phase protein, and heat shock protein 70 gene expression levels in heat-stressed broilers." *Poultry Science*, *100*.

Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., Samsudin, A. A., Mustapha, N. M., Zulkifli, I., and Izuddin, W. I. (2019). "Effects of Feeding Different Postbiotics Produced by Lactobacillus plantarum on Growth Performance, Carcass Yield, Intestinal Morphology, Gut Microbiota Composition, Immune Status, and Growth Gene Expression in Broilers under Heat Stress." *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, *9*.

Izuddin, W. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., and Samsudin, A. A. (2020). "Dietary Postbiotic Lactobacillus plantarum Improves Serum and Ruminal Antioxidant Activity and Upregulates Hepatic Antioxidant Enzymes and Ruminal Barrier Function in Post-Weaning Lambs. "*Antioxidants*, *9*.

Izuddin, W. I., Loh, T. C., Samsudin, A. A., Foo, H. L., Humam, A. M., and Shazali, N. (2019a). "Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs." *BMC Veterinary Research*, *15*, 1–10.

Izuddin, W. I., Loh, T. C., Samsudin, A. A., Foo, H. L., Humam, A. M., and Shazali, N. (2019b). "Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs." *BMC Veterinary Research*, *15*.

Jiajun, H., Zhenzhou, W., Liu, Y., Li, L., Guoqiang, Z., Dangdang, W., & Xiangxue, X. (2024). "Effects of Dietary Supplementation with Clostridium butyricum on Rumen Fermentation, Rumen Microbiota and Feces in Beef Cattle." *KAFKAS ÜNİVERSİTESİ VETERİNER FAKÜLTESİ DERGİSİ*, *30*(3).

Johnson, C. N., Kogut, M. H., Genovese, K., He, H., Kazemi, S, and Arsenault, R. J. (2019). "Administration of a postbiotic causes immunomodulatory responses in broiler gut and reduces disease pathogenesis following challenge." *Microorganisms*, *7*(8), 268.

Kaufman, J., Seidler, Y., Bailey, H., Whitacre, L., Bargo, F., Lüersen, K., Rimbach, G., Pighetti, G., Ipharraguerre, I. R., and Ríus, A. (2021). "A postbiotic from Aspergillus oryzae attenuates the impact of heat stress in ectothermic and endothermic organisms." *Scientific Reports*, *11*(1), 6407.

Oyebade, A., Taiwo, G., Idowu, M., Sidney, T., Queiroz, O., Adesogan, A., Vyas, D., and Ogunade, I. (2024). "Effects of direct-fed microbial supplement on ruminal and plasma metabolome of early-lactation dairy cows: untargeted metabolomics approach." *Journal of Dairy Science*, *107*(4), 2556–2571.

Pedro, A. R., Lima, T., Fróis-Martins, R., Leal, B., Ramos, I. C., Martins, E. G., Cabrita, A. R., Fonseca, A. J., Maia, M. R., and Vilanova, M. (2021). "Dectin-1-mediated production of pro-inflammatory cytokines induced by yeast β-glucans in bovine monocytes." *Frontiers in Immunology*, *12*, 689879.

Periti, P., and Mazzei, T. (1998). "Antibiotic-induced release of bacterial cell wall components in the pathogenesis of sepsis and septic shock: a review." *Journal of Chemotherapy*, *10*(6), 427-448.

Pimentel, T. C., Cruz, A. G., Pereira, E., da Costa, W. K. A., da Silva Rocha, R., de Souza Pedrosa, G. T., dos Santos Rocha, C., Alves, J. M., Alvarenga, V. O., and Sant'Ana, A. S. (2023). "Postbiotics: An overview of concepts, inactivation technologies, health effects, and driver trends." *Trends in Food Science & Technology*, *138*, 199–214.

Retta, K. S. (2016). "Role of probiotics in rumen fermentation and animal performance: a review." *International journal of livestock production*, *7*(5), 24–32.

Reuben, R. C., Elghandour, M. M., Alqaisi, O., Cone, J. W., Márquez, O., and Salem, A. Z. (2022). "Influence of microbial probiotics on ruminant health and nutrition: Sources, mode of action and implications." *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(4), 1319-1340.

Ruas-Madiedo, P., and De Los Reyes-Gavilán, C. (2005). "Invited review: methods for the screening, isolation, and characterization of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria." *Journal of Dairy Science*, *88*(3), 843–856.

Saeed, M., Afzal, Z., Afzal, F., Khan, R. U., Elnesr, S. S., Alagawany, M., and Chen, H. (2023). "Use of Postbiotic as Growth Promoter in Poultry Industry: A Review of Current Knowledge and Future Prospects." *Food Science of Animal Resources*, *43*, 1111 – 1127.

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., and Szajewska, H. (2021). "The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics." *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *18*(9), 649–667.

Şanlı, E. R. (2024). "Usability of Postbiotics in Ruminant Nutrition and Health." *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*.

Seth, E. C., and Taga, M. E. (2014). "Nutrient cross-feeding in the microbial world." *Frontiers in Microbiology*, *5*, 350.

Sousa, D., Oliveira, C., Velasquez, A. V., Souza, J., Chevaux, E., Mari, L. J., and Silva, L. F. P. (2018). "Live yeast supplementation improves rumen fibre degradation in cattle grazing tropical pastures throughout the year." *Animal Feed Science and Technology*, *236*, 149–158.

Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., and Delzenne, N. M. (2020). "The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics." *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *17*(11), 687–701.

Thanh, N., Loh, T., Foo, H., Hair-Bejo, M. and Azhar, B. (2009). "Effects of feeding metabolite combinations produced by Lactobacillus plantarum on growth performance, faecal microbial population, small intestine villus height and faecal volatile fatty acids in broilers." *British Poultry Science*, *50*(3), 298-306.

Uyeno, Y., Shigemori, S., and Shimosato, T. (2015). "Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity." *Microbes and Environments*, *30*(2), 126–132.

Vailati-Riboni, M., Coleman, D. N., Lopreiato, V., Alharthi, A. S., Bucktrout, R., Abdel-Hamied, E., Martínez-Cortes, I., Liang, Y., Trevisi, E., Yoon, I., and Loor, J. J. (2021). "Feeding a Saccharomyces cerevisiae fermentation product improves udder health and immune response to a Streptococcus uberis mastitis challenge in mid-lactation dairy cows." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *12*.

Vicente, F., Campo-Celada, M., Menéndez-Miranda, M., García-Rodríguez, J., and Martínez-Fernández, A. (2024). "Effect of postbiotic supplementation on nutrient digestibility and milk yield during the transition period in dairy cows." *Animals*, *14*(16), 2359.

Xiao, J., Alugongo, G., Chung, R., Dong, S., Li, S., Yoon, I., Wu, Z., and Cao, Z. (2016). "Effects of Saccharomyces cerevisiae fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community." *Journal of Dairy Science*, *99*(7), 5401–5412.

Xu, Z., Hu, C., Xia, M., Zhan, X., and Wang, M. (2003). "Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers." *Poultry Science*, *82*(6), 1030–1036.

Zhang, C., Zhang, J., Yu, Z., Zhou, G., and Yao, J. (2022). "Effects of supplementation with Saccharomyces cerevisiae products on dairy calves: A meta-analysis." *Journal of Dairy Science*, *105*(9), 7386-7398.

Zhong, Y., Wang, S., Di, H., Deng, Z., Liu, J., and Wang, H. (2022a). "Gut health benefit and application of postbiotics in animal production." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *13*.

Zhong, Y., Wang, S., Di, H., Deng, Z., Liu, J., and Wang, H. (2022b). "Gut health benefit and application of postbiotics in animal production." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *13*(1), 38.

Zhou, X., Hong, T., Yu, Q., Nie, S., Gong, D., Xiong, T., and Xie, M. (2017). "Exopolysaccharides from Lactobacillus plantarum NCU116 induce c-Jun dependent Fas/Fasl-mediated apoptosis via TLR2 in mouse intestinal epithelial cancer cells." *Scientific Reports*, *7*(1), 14247.

Publisher Note

Animal Science Students Scientific Association, Campus of Agriculture and Natural Resources at the University of Tehran

Submit Your Manuscript:
https://domesticsj.ut.ac.ir/contacts?_action=loginForm

Domestic; 25 (3): 48-58

Scientific-Extensional (Professional) Journal

Domestic

Animal Science Students Scientific Association at the University of Tehran, Autumn 2025

https://domesticsj.ut.ac.ir/article_107006.html

Scientific-Extensional Article

A review of the emerging postbiotics and their physiological, nutritional, and genetic implications in livestock and poultry

Zahra Rezaei[1], Reza Faraji[2*], and Armin Towhidi[3]

[1] Ph.D. Student in Animal Physiology, Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Alborz, Karaj, Iran

[2] Ph.D. Graduate in Animal Genetics, Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Alborz, Karaj, Iran

[3] Professor of Animal Physiology, Department of Animal Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Alborz, Karaj, Iran

https://doi.org/10.22059/domesticsj.2025.395745.1196

Abstract

According to the definition by the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) in 2019, postbiotics are non-viable microorganisms and/or their components that confer health benefits to the host. Postbiotics offer several advantages over probiotics. They include metabolites such as short-chain fatty acids, cell wall components, and antimicrobial substances that enhance livestock performance by improving gut health, strengthening the immune system, and modulating gene expression. In dairy cattle, postbiotics contribute to improved milk yield and quality by reducing the incidence of metabolic diseases such as ketosis and infectious diseases such as mastitis. This review article, based on recent studies and supported by numerous international references, provides a comprehensive examination of the physiological, nutritional, and genetic effects of postbiotics in dairy cows and other farm animals. Findings indicate that postbiotic supplementation often leads to increased feed intake, improved nutrient digestibility, enhanced immune markers including elevated immunoglobulin levels, and improved production performance such as milk yield and quality.

Keyword(s): Dairy cow, Epigenetics, Nutrition, Physiology, Postbiotics

***Corresponding Author E-mail:** reza.faraji@ut.ac.ir

Section: Animal and Poultry Physiology **Associate Editor:** Dr. Afshin Seifi-Jamadi

Received: 15 Jun 2025 **Revised:** 20 Jul 2025 **Accepted:** 19 Aug 2025 **Published online:** 11 Dec 2025

Citation: Rezaei, Z., Faraji, R., Towhidi, A. A review of the emerging postbiotics and their physiological, nutritional, and genetic implications in livestock and poultry. *Professional Journal of Domestic*, 2025; 25(3): 48-58.