



نشریه آموزشی - پژوهشی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور

فصلنامه تحقیقات کاربردی در علوم دامی

شماره ۴۱، زمستان ۱۴۰۰
صص: ۲۹-۴۲

فعالیت‌های زیستی اجزا دیواره سلولی مخمر در سلامت دام و طیور

• حدیث متشفی (نویسنده مسئول)

استادیار بخش بیوتکنولوژی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۰

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۲۶۳۴۲۵۶۰۰۱

Email: moteshafi@asri.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ aasrj.2022.357454.1244

چکیده:

مقاومت آنتی‌بیوتیکی یک تهدید جهانی فزاینده است و متخصصان تغذیه خوراک دام را به یافتن جایگزین‌هایی برای محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی ملزم کرده است. علاوه بر این، وجود مایکوتوکسین‌ها در محصولات زراعی، خوراک دام و محصولات دامی یک مشکل جدی در حفظ سلامت مصرف‌کنندگان در سطح جهان است. بنابراین، متخصصان تغذیه دام و طیور در حال بررسی جایگزین‌های طبیعی برای آنتی‌بیوتیک‌ها هستند تا سلامت و رفاه عمومی حیوانات را افزایش و خطر گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی را کاهش دهند. محصولات دیواره سلولی مخمر با داشتن خواص پری‌بیوتیکی و جاذب مایکوتوکسین‌ها به عنوان مکمل خوراک توصیه و مصرف می‌شوند. دیواره سلولی مخمر ۲۵ درصد وزن خشک کل سلول مخمر را تشکیل می‌دهد و ساختار پیچیده‌ای دارد که عمدتاً از مانوپروتئین‌ها، بتاگلوکان‌ها، کیتین و N-استیل گلوکزآمین تشکیل شده است. این مقاله به بررسی فعالیت‌های زیستی اجزای اصلی دیواره سلولی، بتاگلوکان و مانان در بهبود جمعیت میکروبی دستگاه گوارش، تعدیل سیستم ایمنی و جذب مایکوتوکسین‌ها می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: دیواره سلولی مخمر، بتاگلوکان، مانان، فعالیت زیستی

Applied Animal Science Research Journal No 41 pp: 29-42

Biological activities of yeast cell wall components in animal and poultry health

By: moteshafi, H.

1: Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), 31585 Karaj, Iran

Received: November 2021**Accepted: February 2022**

Antibiotic resistance is an increasing global threat and it has led animal feed nutritionists to find alternatives for antibacterial growth promoters. In addition, the presence of mycotoxins in the crops, feed, and livestock products is a serious problem in safeguarding consumers' health globally. Therefore, animal and poultry nutritionists are considering natural alternatives to antibiotics to increase the general health and welfare of animals and reduce the risk of spreading antibiotic resistance. Yeast cell wall products with prebiotic and mycotoxins adsorbent properties are recommended and consumed as feed supplements. The yeast cell wall makes up 25% of the total dry weight of the yeast cell and has a complex structure composed mainly of manoproteins, β -glucans, chitin, and N-acetylglucosamine. This article reviews the biological activities of the main components of the cell wall, β -glucan and mannan in improving the microbial flora of the gastrointestinal tract, modulating the immune system, and absorption of mycotoxins.

Key words: Yeast Cell Wall, β -Glucan, Mannan, Biological Activity**مقدمه**

تاکنون تعداد زیادی از مواد طبیعی با ادعای اثر ضد میکروبی، مورد تحقیق یا استفاده قرار گرفته‌اند و خوراک فاقد مواد افزودنی شیمیایی به‌طور فزاینده‌ای در تغذیه دام و طیور مورد توجه قرار گرفته است. این مواد طبیعی درحالی‌که جمعیت میکروبی طبیعی روده را حفظ می‌کنند، با اتصال یا مهار و دفع باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها و سموم عمل می‌کنند. علاوه بر این، بسیاری از این مواد همچنین دارای خواص آنتی‌اکسیدان و محرک ایمنی هستند. گرچه هنوز کاملاً روشن نیست چگونه این محصولات عملکرد مفید خود را اعمال می‌کنند و مکانیسم‌های اساسی کارایی آن‌ها هنوز مشخص نیست (Thacker و همکاران، ۲۰۱۳). محرک‌های رشد طبیعی شامل آنزیم‌ها، اسیدهای آلی، پروبیوتیک‌ها، مکمل‌های گیاهی، مواد معدنی خاک رس و پری-بیوتیک‌ها با عملکردهای مفیدی مانند تحریک رشد یا بهبود فعالیت متابولیک برخی از گونه‌های جمعیت میکروبی روده هستند (Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۳). در میان پری‌بیوتیک‌ها، الیگوساکاریدهای دیواره سلول مخمر نیز به‌عنوان جایگزینی برای محرک‌های رشد با توجه برای ظرفیت آن‌ها در اثرات ضد

برای جلوگیری از ظهور و بروز مجدد مخاطرات ایمنی زیستی انسان و دام، کاهش خطرات بهداشت عمومی مانند مقاومت ضد میکروبی که بخشی از آن در رابطه با استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان محرک رشد در تغذیه دام و طیور ایجاد شده است، ضروری است. حفظ سلامت دام نه‌تنها برای پرورش دهندگان یک مسئله اقتصادی است بلکه عامل کلیدی مهمی در امنیت زیستی زنجیره غذایی از مزرعه به سفره است (Santovito و همکاران، ۲۰۱۸).

بعد از آئین‌نامه اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۳ مبنی بر عدم استفاده از داروهای آنتی‌بیوتیکی محرک رشد و محدودیت استفاده از آن‌ها به درمان بیماری‌ها و با نسخه دامپزشکی، اتخاذ استراتژی‌ها و طراحی محصولات نوآورانه به‌منظور جایگزینی محرک‌های رشد برای رفع شکاف ناشی از ممنوعیت آنتی‌بیوتیک‌ها و بهبود عملکرد و به حداکثر رساندن تولید آغاز شده است.

بنابراین متخصصین تغذیه دام و طیور بیش از پیش به دنبال گزینه‌های طبیعی برای آنتی‌بیوتیک‌ها و جستجوی مکمل‌هایی برای افزایش عملکرد رشد و سلامت عمومی و رفاه دام هستند.

ایجاد کرده است. به عنوان مثال تورم روده عفونی آنتریت نکروتیک^۱ ناشی از باکتری کلوستریدیوم پرفرینجنس^۲ که یک بیماری مهم در صنعت جوجه های گوشتی است و مصرف آنتی بیوتیک ها در خوراک تا حد زیادی آن را کنترل کرده بود. اما ممنوعیت آنتی بیوتیک های خوراکی در اتحادیه اروپا منجر به افزایش شیوع آن شده است (Xue و همکاران، ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۵ تخمین زده شده بود این بیماری هزینه های بالایی (تقریباً ۶ میلیارد دلار در سال) به صنعت طیور در جهان تحمیل می کند (Keyburn و Wade، ۲۰۱۵).

برخی از ترکیباتی که در حال حاضر برای جایگزینی آنتی بیوتیک محرک رشد مورد استفاده و بررسی قرار گرفته اند، انواع پری-بیوتیک ها هستند. پری بیوتیک ها مکمل های خوراکی هستند که بدون هضم شدن و یا هضم جزئی، با تحریک انتخابی رشد یا فعالیت تعداد محدودی از گونه های باکتریایی دستگاه گوارش، تأثیرات مفیدی بر میزبان می گذارند. الیگوساکاریدهای طبیعی و مصنوعی انواع شناخته شده ای از پری بیوتیک ها هستند. از جمله الیگوساکاریدها می توان به مانوآلیگوساکاریدها (الیگوساکاریدهای مانان)، فروکتوالیگوساکاریدها، اینولین، گالاکتوالیگوساکاریدها، ایزومالتوالیگوساکاریدها، زایلوالیگوساکاریدها و کیتوالیگوساکاریدها اشاره کرد.

درجه پلیمریزاسیون پری بیوتیک ها به طور قابل توجهی بر اثرات پری بیوتیکی تأثیر می گذارد، به طوری که درجات بالاتر پلیمریزاسیون آرایینوزایلان برای رشد باکتری های مفید روده مناسب تر است و باعث افزایش ایمنی و عملکرد ماهیان خاویاری سبیری می شود (Geraylou و همکاران، ۲۰۱۲).

به طور کلی مخمرهای زنده و محصولات مبتنی بر مخمر نیز که عموماً از سویه ساکارومایسس سرویسیه^۳ تولید شده اند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سیستم ایمنی بدن و نشانگرهای زیستی بعدی آن تأثیرات مثبتی دارند و در نتیجه اثرات منفی مرتبط با استرس و بیماری را کاهش می دهد. همچنین گزارش شده است که این محصولات به طور هم زمان با افزایش مصرف ماده خشک

میکروبی و تعدیل سیستم ایمنی پیشنهاد شده است (Santovito و همکاران، ۲۰۱۸).

افزایش ایمنی دام و طیور در مراحل تولیدمثل، مراحل اولیه رشد و یا در یک محیط چالش برانگیز (مانند بستر آلوده) بسیار مهم و کلید افزایش بهره وری است. بیماری های روده نیز اثرات مضری، از جمله کاهش راندمان تولید، افزایش تلفات و آلودگی فرآورده های طیور مورد استفاده انسانی بر صنعت مرغداری دارند. هرچند استفاده از آنتی بیوتیک در دهه های گذشته در ارتقا سلامتی، ایمنی و افزایش تولیدات دام و طیور موفقیت آمیز بوده است، شواهد علمی نشان می دهد که استفاده زیاد از آن ها منجر به افزایش مقاومت آنتی بیوتیکی شده است. به عنوان نمونه در پژوهشی میزان مقاومت آنتی بیوتیکی نسبت به ده آنتی بیوتیک با مصرف رایج در مراکز درمانی ایران در مورد سروتپ های سالمونلا در خوراک دام ۵۰ دامداری دارای مجوز بهداشتی در سطح شهرستان اردبیل بررسی شده است. تمامی جدایه های سالمونلایی حداقل به ۴ آنتی بیوتیک مقاوم بودند. بیشترین مقاومت دارویی نسبت به آنتی بیوتیک های تتراسیکلین، آمیکاسین، سولفادیازین + تری متوپریم و کوتریموکسازول ۱۰۰ درصد و بعد از آن ها کلرامفنیکل و آمپی سیلین ۶۶/۷ درصد، داکسی سیکلین، فلورفنیکل و انروفلوکساسین ۳۳/۴ درصد مشاهده شد. تمامی جدایه ها در مقابل سیپروفلوکساسین حساس بودند. نتایج این بررسی نشان داد بیشترین میزان مقاومت دارویی نسبت به آنتی بیوتیک های رایج در صنعت دام و طیور وجود دارد که با مصرف بی رویه آنتی بیوتیک ها در جیره غذایی دام و ایجاد و گسترش باکتری های مقاوم مرتبط است (عزیزپور و قضائی، ۱۳۹۸). بنابراین تولید محصولات طبیعی علیه باکتری های بیماری زای دام و طیور شایع در کشور به دلیل ایمنی غذایی و جلوگیری از ضررهای اقتصادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به هر حال با افزایش نگرانی ها در مورد مقاومت آنتی بیوتیکی و فشار از جانب مصرف کنندگان، ممنوعیت استفاده از سطوح پایین تر از دز درمانی آنتی بیوتیک ها در بسیاری از کشورها، انگیزه روزافزونی معطوف به یافتن جایگزین هایی برای آنتی بیوتیک ها با حفظ سلامت و بهره وری بیشتر دام و طیور

¹ Necrotic enteritis

² *Clostridium perfringens*

³ *Saccharomyces cerevisiae*

از زیر واحدهای گلوکز هستند که با پیوندهای گلیکوزیدی بتا (۳و۱) و (۶و۱) و (۴و۱) به یکدیگر متصل شده و شاخه‌های اصلی و فرعی بتاگلوکان دیواره سلولی را شکل می‌دهند. با ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین شاخه‌ها، ساختارهای مارپیچی یک یا سه‌گانه ایجاد می‌شود. مانوپروتئین، لایه خارجی دیواره سلولی مخمر، ۹۰ درصد از الیگوساکارید مانان و ۱۰ درصد از پروتئین تشکیل شده است. شاخه اصلی مانان از پیوندهای آلفا (۶و۱) گلیکوزیدی بین مونوساکاریدهای مانوز تشکیل شده است و شاخه‌های جانبی با پیوندهای آلفا (۲و۱) و آلفا (۳و۱) به شاخه اصلی متصل هستند. پروتئین‌ها هم پیوندهای کوالانسی با اکسیژن و یا نیتروژن برقرار کرده و در ساختار مانوپروتئین جای می‌گیرند. با این وجود، مطالعات بیشتری برای شناخت بیشتر جزئیات ساختار بتاگلوکان و مانان از نظر درجه شاخه‌ای شدن^۴، طول شاخه‌های جانبی و ساختار فضایی مورد نیاز است (Liu و همکاران، ۲۰۲۱).

و میانگین افزایش وزن روزانه از طریق بهبود محیط دستگاه گوارش، رشد و عملکرد را افزایش می‌دهند. این محصولات ممکن است به‌ویژه در مواقع استرس احتمالی مانند هنگام تولد، از شیر گرفتن، اوایل شیردهی و در طی دوره دریافت در شیرخوار مفید باشند. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد مکمل‌های مخمر توانایی کاهش عوارض استرس‌ها و درعین‌حال افزایش سلامت و متابولیسم حیوانات را دارند، در نتیجه سودآوری پرورش دام را افزایش می‌دهند (Broadway و همکاران، ۲۰۱۵).

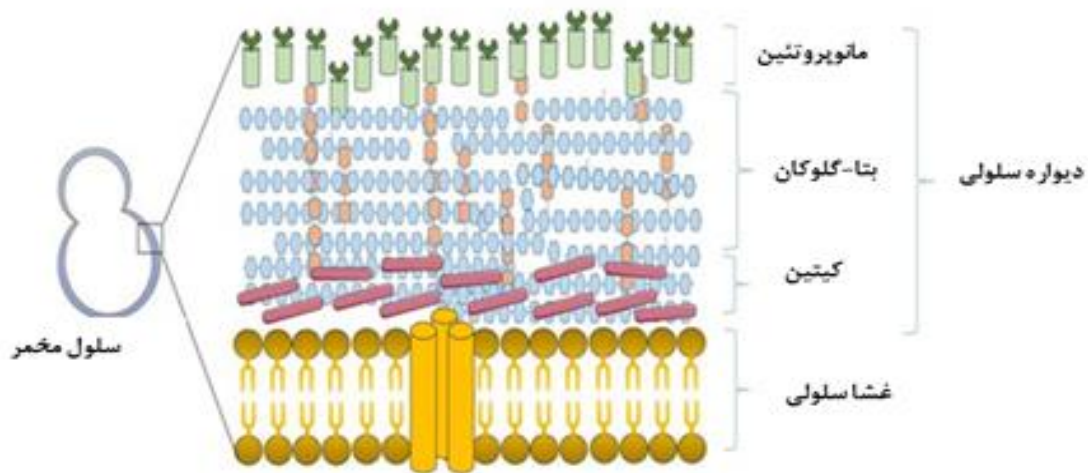
هدف این مقاله مروری بر فعالیت‌های زیستی اجزا اصلی دیواره سلولی مخمر بهبود جمعیت میکروبی دستگاه گوارش، تعدیل سیستم ایمنی و جذب مایکوتوکسین‌ها که در سلامت و رفاه دام و طیور مؤثر هستند، می‌باشد.

سلول مخمر و ساختار دیواره سلولی مخمر

مخمر یک میکروارگانیسم یوکاریوتی، تک سلولی و از اعضای خانواده قارچ‌هاست که تقریباً ۱۵۰۰ گونه از آن شناسایی شده است. مخمر دارای خواص پروبیوتیک و دیواره سلولی آن دارای خواص پری‌بیوتیک است (Kung و همکاران، ۱۹۹۷). به‌طور کلی، محصولات پارابیوتیکی (سلول‌های مرده و یا غیرفعال) مخمر به دلیل فاکتورهای رشد و ویتامین‌هایی که فراهم می‌کنند، به‌عنوان پست‌بیوتیک و یا پری‌بیوتیک طبقه‌بندی می‌شوند. استفاده از مخمر در تغذیه دام و طیور مفهوم جدیدی نیست و سال‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرد، با این وجود درک مکانیسم‌های اثربخشی همچنان نیازمند تحقیقات بیشتر است (Palmer و همکاران، ۲۰۱۸).

در حدود ۲۵ درصد از کل وزن خشک سلول مخمر را دیواره سلولی تشکیل می‌دهد و دارای ساختاری پیچیده است که به طور عمده توسط پروتئین‌های دیواره سلولی یا مانوپروتئین‌ها، بتاگلوکان‌ها، کیتین و β -N-استیل گلوکزآمین تشکیل شده است. دیواره سلولی مخمر به طور عمده شامل الیگوساکاریدهای مانان و بتاگلوکان است. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، بتاگلوکان لایه داخلی دیواره سلولی را تشکیل می‌دهد. بتاگلوکان‌ها یک گروه ناهمگن از پلی‌ساکاریدهای طبیعی متشکل

⁴ branching degree



شکل ۱- اجزا دیواره سلولی مخمر (Anwar و همکاران، ۲۰۱۷)

و محیط دستگاه گوارش، تعدیل سیستم ایمنی و جذب میکوتوکسین ها که در تحقیقات برون تنی و درون تنی تأیید شده است در سلامت دام، طیور و آبزیان از اهمیت بالایی برخوردار است (Liu و همکاران، ۲۰۲۱). در شکل ۲، سازوکار اجمالی اثر اجزا دیواره سلولی مخمر در بهبود جمعیت میکروبی و تعدیل سیستم ایمنی و در نتیجه بهبود عملکرد نشان داده شده است.

بهبود و اصلاح جمعیت میکروبی و محیط دستگاه

گوارش توسط الیگوساکاریدهای مانان

دامها مخازن طبیعی بیماری‌زاهای باکتریایی مانند سالمونلا و اشرشیاکلی هستند که می‌تواند بر سلامت انسان نیز تأثیر منفی بگذارد. بنابراین، نگرانی درباره آلودگی مواد غذایی به انواع بیماری‌زها وجود دارد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که اجزای محصولات مخمر و دیواره سلولی با اتصال به باکتری‌های بیماری‌زا در دستگاه گوارش موجب بهبود عملکرد روده می‌شوند (White و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعات در شرایط آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مخمر ساکارومایسس سرویسیه توانایی اتصال به دیواره سلولی باکتری سالمونلا را دارد (Pérez-Sotelo و همکاران، ۲۰۰۵). اگرچه محصولات مخمری می‌توانند عوامل بیماری‌زا را کاهش دهند، توانایی حذف کامل آنها را ندارند (Swyers و همکاران، ۲۰۱۱). درک رابطه میکروب-میزبان اهمیت زیادی دارد چرا که یک جمعیت میکروبی

افزودنی‌های مخمری پری بیوتیکی به صورت مخمر کامل اتولیز شده یا دیواره سلولی مخمر هیدرولیز شده همچنین در فرم عصاره دیواره سلولی در تغذیه دام، طیور و آبزیان استفاده می‌شود. مشتقات دیواره سلولی (مانان، مانوپروتئین و بتاگلوکان) را می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی و با جداسازی اجزا محلول و نامحلول تهیه کرد (Ahiwe و همکاران، ۲۰۲۱). برای استخراج الیگوساکاریدهای مانان، دیواره سلولی مخمر ابتدا با روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا آنزیمی لیز می‌شود. پس از آن با سانتریفیوژ، خشک کردن و معمولاً به روش استخراج قلیایی، آلفا-مانوپروتئین جدا می‌شود. در مرحله آخر، آلفا-مانوپروتئین با اولترافیلتراسیون غشایی و خشک کردن پاششی تغلیظ می‌شود. در گذشته، دیواره سلولی مخمر ساختاری نسبتاً ایستا با تفاوت‌های محدودی در ترکیبات شناخته می‌شد در حالی که مطالعات متعدد در دهه‌های گذشته مشخص کرده‌است که بدون تردید دیواره سلولی مخمر در ترکیب و همچنین در ساختار می‌تواند بسیار متغیر باشد. عواملی مانند گونه و سویه مخمری، شرایط رشد مخمر و فرایند استحصال دیواره سلولی بر نسبت اجزا و ساختار دیواره سلولی مؤثر هستند (Korolenko و همکاران، ۲۰۱۹).

فعالیت‌های زیستی اجزای دیواره سلولی مخمر (بتاگلوکان و مانان)

فعالیت‌های زیستی بتاگلوکان و مانان مانند بهبود جمعیت میکروبی

شامل تغییر در ترکیب جمعیت میکروبی روده از طریق حذف رقابتی، تولید عوامل ضد میکروبی و تغییر الگوی تخمیر جمعیت میکروبی روده بیان شده است (Xue و همکاران، ۲۰۱۷).

تعدیل سیستم ایمنی توسط اجزا دیواره سلولی مخمر

اثر بالقوه دیگر اجزا دیواره سلولی مخمر، بهبود ایمنی‌های سلولی، هومورال و مخاطی است. در روده انواع ماکروفاژها به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده بافت لنفاوی مرتبط با روده^۶ (GALT) وجود دارد که عوامل بیماری‌زایی را توسط یک نوع منحصر به فرد از مولکول‌ها موسوم به الگوهای مولکولی مرتبط با بیماری‌زا^۷ (PAMP) شناسایی می‌کنند. بتاگلوکان و مانان دیواره سلولی مخمر با گیرنده‌های PAMP خود به سلول‌های دفاعی GALT متصل می‌شود و سیستم ایمنی بدن را تحریک می‌کند (Chacher و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، روند تولید و روش استخراج بر ساختار و عملکرد بتاگلوکان تأثیر می‌گذارد. محققان نشان داده‌اند که بتاگلوکان از نوع بتا (۱،۳) و (۱،۶)، تأثیرات مثبتی در بهبود ایمنی بدن دارند و می‌تواند با افزایش عملکردهای سد مخاطی و کمک به رشد دام، سلامت دستگاه گوارش را بهبود بخشد. علاوه بر این، سایر مزایای سلامت‌بخش مانند ضد التهابی، ضد میکروبی، محافظت از کبد، کاهش وزن، ضد دیابت و عملکردهای کاهش کلسترول نیز گزارش شده است. محققان نشان داده‌اند که بتاگلوکان در داخل ماکروفاژها تخریب و آزاد می‌شود و در نهایت از طریق سیستم گردش خون در دسترس قرار می‌گیرد. این باعث فعالیت فاگوسیتیک، متابولیسم اکسیداتیو نوتروفیل‌ها و مونوسیت‌ها، تولید اینترلوکین ۱- (IL)، ماکروفاژهای صفافی، نوتروفیل‌ها و مونوسیت‌ها، کاهش پیش التهابی IL-6 و افزایش ضد التهابی IL-10 می‌شود. همچنین با افزایش تولید سیتوکین پلاسما از IL-2، IL-4، IL-5 و اینترفرون گاما، افزایش ایمنی هومورال با افزایش کل مونوسیت‌ها، مونوسیت‌های پیش التهابی و افزایش فعالیت سرولوپلاسمین مشاهده شده است (Barducci و Santos، ۲۰۲۰).

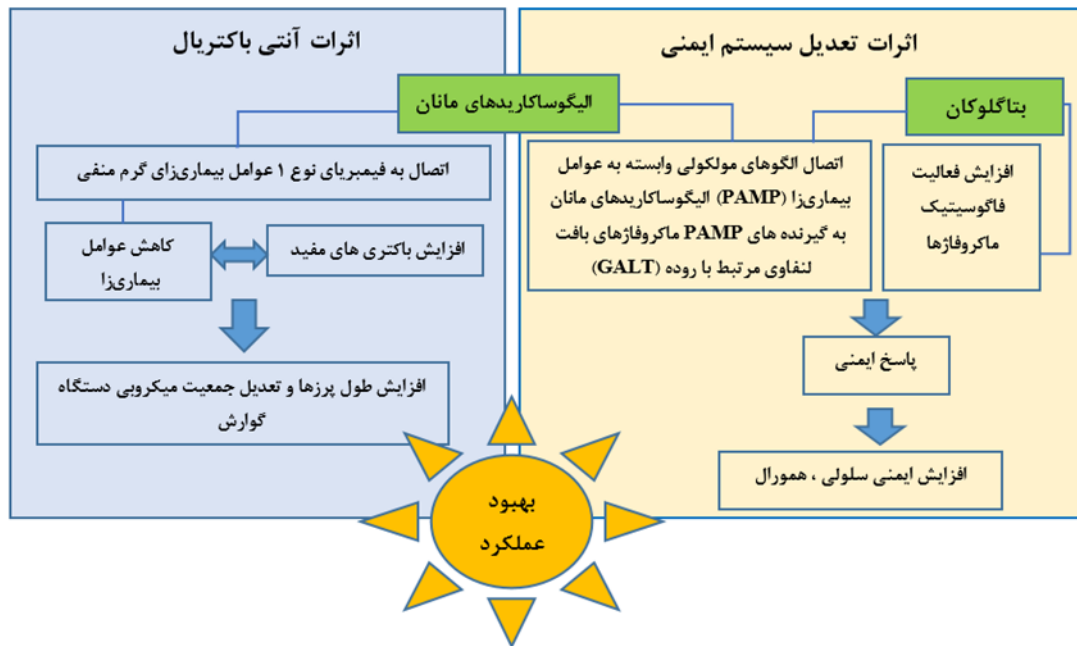
روده‌ای موجب افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌شود. نحوه ایجاد تعادل یا عدم تعادل در جمعیت باکتریایی روده به‌خوبی روشن نشده است، اما به نظر می‌رسد که گونه‌های لاکتوباسیلوس-ها و بیفیدوباکتری‌ها در برابر تنش حساس هستند و این جمعیت‌ها در شرایط تنش کاهش می‌یابند. دستگاه گوارش برای عملکرد طبیعی باید از جمعیت میکروبی متعادل برخوردار باشد، الیگوساکاریدهای مانان می‌تواند به کاهش بار باکتری‌های بیماری‌زا و افزایش رشد باکتری‌های مفید کمک کند. برخی گونه‌های بیماری‌زا حاوی نوع ۱ فیمبریای خاص مانوز هستند که نقش مهمی در چسبندگی آن‌ها به دیواره روده دارد و در نتیجه باعث شروع و گسترش عفونت می‌شود. الیگوساکاریدهای مانان با اتصال با فیمبریای نوع ۱ کار می‌کند، بنابراین باکتری‌ها مضر بدون کلونیزه شدن در روده حرکت می‌کنند در نتیجه باعث کاهش غالب شدن عوامل بیماری‌زا در دستگاه گوارش می‌شوند (Abbeele و همکاران، ۲۰۲۰).

اثرات اصلی توصیف شده الیگوساکاریدهای مانان مربوط به جلوگیری از کلونیزاسیون بیماری‌زاها و به‌عنوان یک عصاره تخمیری برای تغذیه باکتری‌های مفید، بهبود رشد و تبدیل خوراک است. هنگام تخمیر، الیگوساکاریدهای مانان به اسیدهای چرب زنجیره کوتاه^۵ (SCFA) تبدیل می‌شود که باعث کاهش pH مدفوع و تغذیه سلول‌های روده می‌شود. تخمیر میکروبی پری‌بیوتیک‌ها و تولید SCFA بر عملکرد میزبان و همچنین پاسخ فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارد. کاهش سطح pH در معده و روده کوچک تعداد جمعیت میکروبی مفید روده مانند باکتری‌های تولیدکننده اسید لاکتیک را افزایش می‌دهد (Abu Elala و Ragaa، ۲۰۱۵) و از رشد باکتری‌های گرم منفی جلوگیری می‌کند (Hoseinifar و همکاران، ۲۰۱۵). گونه‌های لاکتوباسیل گلوکز را تخمیر و اسید لاکتیک و استیک تولید می‌کنند که به‌عنوان یک سازوکار کنترلی برای همه انواع باکتری‌های بیماری‌زا حتی اگر حاوی فیمبریای نوع ۱ نباشند، مانند کلستریدیوم و کمپیلوباکترها می‌تواند پیشنهاد شود (Audisio و همکاران، ۲۰۰۰). به‌طور کلی نحوه عملکرد دیواره سلولی مخمر

⁶ Gut-associated lymphoid tissue (GALT)

⁷ Pathogen-associated molecular patterns

⁵ Short-chain fatty acids (SCFAs)



شکل ۲- سازوکار اجزای دیواره سلولی مخمر در بهبود جمعیت میکروبی و تعدیل سیستم ایمنی (Chacher و همکاران، ۲۰۱۷)

بتاگلوکان خالص شده را به صورت داخل صفاقی به موش های BALB/c تزریق کردند. خون موش های ایمن در روزهای چهارم و هفتم پس از تزریق، به روش پونکسیون قلبی جمع آوری شده، تحت آزمایش های کمی لومینسانس (فاگوسیتوز) و الایزا سایتوکین TNF α سنجش شد. بر اساس یافته های به دست آمده از آزمایش کمی لومینسانس، تزریق داخل صفاقی به موش ها، باعث افزایش معنی دار فعالیت فاگوسیتیک نوتروفیلها در روز چهارم و روز هفتم در مقایسه با گروه شاهد شده است. به علاوه، در آزمایش الایزا، میانگین میزان ترشح TNF α در موش های بیمار شده با بتاگلوکان خالص شده نسبت به موش های شاهد، در روزهای چهارم و هفتم افزایش معنی داری را نشان داده است. از این مطالعه نتیجه گیری شده است که بتاگلوکان خالص را می توان به عنوان یک ماده محرک ایمنی به تنهایی یا به صورت کونژوگه با سایر عوامل تعدیل کننده ایمنی در پیشگیری و یا درمان بیماران مبتلا به نقصان ایمنی استفاده نمود. در منابع مختلف به نقش بتاگلوکانها به عنوان محرک های بیولوژیک اشاره شده

پاسکال و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی اثر افزودن عصاره دیواره سلولی مخمر به رژیم غذایی جوجه های گوشتی را بررسی نموده و گزارش کردند که عصاره دیواره سلولی مخمر منجر به بهبود تبدیل خوراک جوجه های گوشتی شده و علی رغم وجود هیچ مسئله چالش برانگیز در طی بررسی، افزایش ترشح گلیکوکونژوگیت در سطح روده که به جوجه ها امکان قدرت دفاعی بیشتری در برابر هر گونه بیماری زا می دهد، مشاهده شده است. در این پژوهش، تفاوت هایی در رونوشت ژن هایی که در عملکردهای ایمنی نقش دارند و کاهش وضعیت التهابی روده در مقایسه با نمونه کنترل که جیره بدون عصاره دیواره سلولی مخمر مصرف کرده بودند، دیده شده است. بر اساس این اثرات متعدد و مکانیسم های عمل، گنجاندن عصاره های دیواره سلولی مخمر می تواند برای بهبود رفاه و سلامت حیوانات تحت شرایط چالش برانگیز سیستم های پرورش فشرده در جوجه های گوشتی مفید در نظر گرفته شود. شگری و همکاران (۱۳۸۵) جهت ارزیابی قابلیت ایمنی زایی،

بخشد (Fowler و همکاران، ۲۰۱۵). تانیسری و همکاران (۲۰۱۰) اثر افزودن ۲ درصد عصاره مخمر نوپرو^۸ به خوراک جوجه‌های گوشتی را در ۱۰ روز اول، قبل از یک چالش با سویه کلستریدیوم پرفرینجنس A، آزمایش کردند. به‌طور کلی، طیور تحت درمان با این مکمل ضایعات کمتری در دئودنوم نسبت به موارد درمان نشده داشتند. نویسندگان استفاده از این مکمل را برای دوره‌های طولانی‌تر پیشنهاد کردند. در پژوهشی دیگر محققان اثر افزودنی دیواره سلولی مخمر تجاری دیگری به نام ساف مانان^۹ در محافظت از جوجه‌های گوشتی در برابر آنتریت نکروتیک ناشی از کلستریدیوم پرفرینجنس A را بررسی کردند.

یک چالش کلستریدیوم پرفرینجنس A بر جوجه‌های ۱۶ روزه که از زمان هچینگ با ۰.۰۵ درصد ساف مانان تغذیه شده بودند، انجام و عملکرد، سلامت روده و تعداد کلستریدیوم پرفرینجنس A در روز ۳۰ مقایسه شد. سلامت روده‌ای (بر اساس ارتفاع پرزها) و عملکرد بهتر بر اساس افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذا، که با اثر مفید شناخته شده عصاره مخمر بر عملکرد مرغ گوشتی مطابقت دارد، حاصل شد. علاوه بر این، طیوری که تحت درمان با ساف مانان قرار گرفتند در مقایسه با گروه درمان نشده ۵ واحد در مقیاس لگاریتم، کاهش جمعیت کلستریدیوم پرفرینجنس A در روده کوچک داشتند (Abudabos و Yehia، ۲۰۱۳). با این وجود، هنگام بحث در مورد اثر الیگوساکاریدهای مانان یا عصاره مخمر، ملاحظات لازم است، زیرا به‌نظر می‌رسد اثر آنتاگونیستی بسیار متغیر است و به تعدادی از متغیرها مانند دوز، طول دوره درمان یا حتی رژیم غذایی وابسته است (Kim و همکاران، ۲۰۱۱).

امکان جذب مایکوتوکسین‌ها توسط دیواره سلولی مخمر

مایکوتوکسین‌ها متابولیت‌های ثانویه قارچ‌ها هستند که در اقلام کشاورزی در سراسر جهان وجود دارند و در حال حاضر، بیش از ۶۵ درصد مواد غذایی تولید شده در سراسر جهان به انواع مایکوتوکسین‌ها آلوده است. مایکوتوکسین موجود در خوراک دام عمدتاً توسط سه جنس قارچ تولید می‌شود: اسپرژیلوس‌ها: آفلاتوکسین‌ها (AFs) و اکراتوکسین A (OTA)، پنی‌سیلیوم‌ها:

است؛ اما تنها برخی از بتاگلوکان‌ها دارای اثرات محرک سیستم ایمنی هستند و این تفاوت در ساختار پیوندهای شیمیایی، میزان حالیت، شکل فضایی، نسبت زنجیره‌های جانبی و سایر خصوصیات بیوشیمیایی آن‌ها نهفته است (Stier و همکاران، ۲۰۱۴). در مطالعات مختلف نشان داده شده است که بتاگلوکان مخمر بر عملکرد ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها تأثیر مثبت داشته و موجب تحریک ترشح سایتوکین‌ها از ماکروفاژها می‌شود. لذا با استفاده از مخمر اتولیز شده می‌توان سیستم ایمنی دام را بهبود داد و با افزایش مقاومت دام در برابر عوامل بیماری‌زا به بهبود کیفی محصولات کمک کرد (Anwar و همکاران، ۲۰۱۷).

مخمر کامل و مشتقات آن می‌تواند بازده جوجه‌های گوشتی را بهبود دهد و احتمالاً این بهبودی به تأثیر آن بر گلبول‌های سفید خون، لنفوسیت‌ها، تعداد مونوسیت‌ها و کاهش عوارض استرس ناشی از لیپوپلی ساکاریدهای سالمونلایی مرتبط است (Ahiwe و همکاران، ۲۰۱۹). مخمر، دیواره سلولی مخمر اتولیز شده و یا اجزای هیدرولیز آنزیمی دیواره سلولی مخمر، به میزان ۲ گرم در هر کیلوگرم خوراک ممکن است جایگزین مناسب برای آنتی‌بیوتیک در تولید مرغ گوشتی عمل کند (Elghandour و همکاران، ۲۰۱۹).

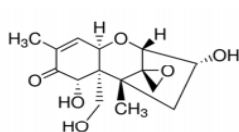
اثر مکمل تجاری غنی از مانان دیواره سلولی مخمر در شیوع سالمونلا انتریتیدیس در مرغ‌های تخم‌گذار کاهش شیوع این سروتیپ در بافت تخمدان و غلظت آن در محتوای سکوم را نشان داده است که ممکن است به‌عنوان راهکاری برای کاهش خطر آلودگی پوسته تخم‌مرغ و انتقال آلودگی مفید واقع شود (Girgis و همکاران، ۲۰۲۰).

دیاز و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مکمل‌های مخمر زنده، الیگوساکاریدهای مانان و ترکیبی از آنها، کاهش غلظت آمونیاک و کاهش انتقال لیپوپلی ساکاریدها را به جریان خون گوسفند (با جیره غذایی بر پایه غلات)، کاهش ضخامت لایه شاخی و سلامت اپیتلیوم شکمبه را گزارش کرده‌اند. افزودن الیگوساکاریدهای مانان به خوراک جوجه‌های گوشتی عملکرد کلی را که با بهره‌وری و افزایش وزن اندازه‌گیری می‌شود، بهبود می-

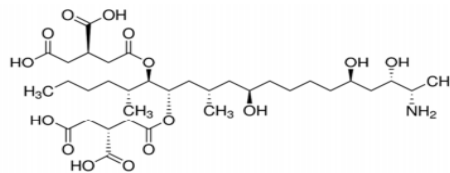
^۸NuPro
^۹Saf-Mannan

شکل ۳ ساختار شیمیایی برخی از آفلاتوکسین ها را نشان می دهد.

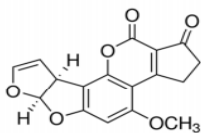
(OTA) و گونه های فوزاریوم: تریکوتسن ها مانند دئوکسی نیوالنول، فومونیزین ها (FBs) و زئارالنون (ZEN) (Marin و همکاران، ۲۰۱۳).



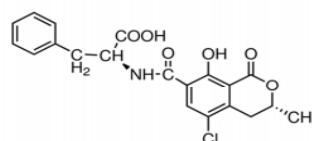
Deoxynivalenol, DON
MW: 296.3



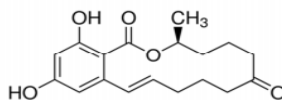
Fumonisin B1, FB1
MW: 721.8



Aflatoxin B1, AFB1
MW: 312.2



Ochratoxin A, OTA
MW: 403.8



Zearalenone, ZEN
MW: 318.3

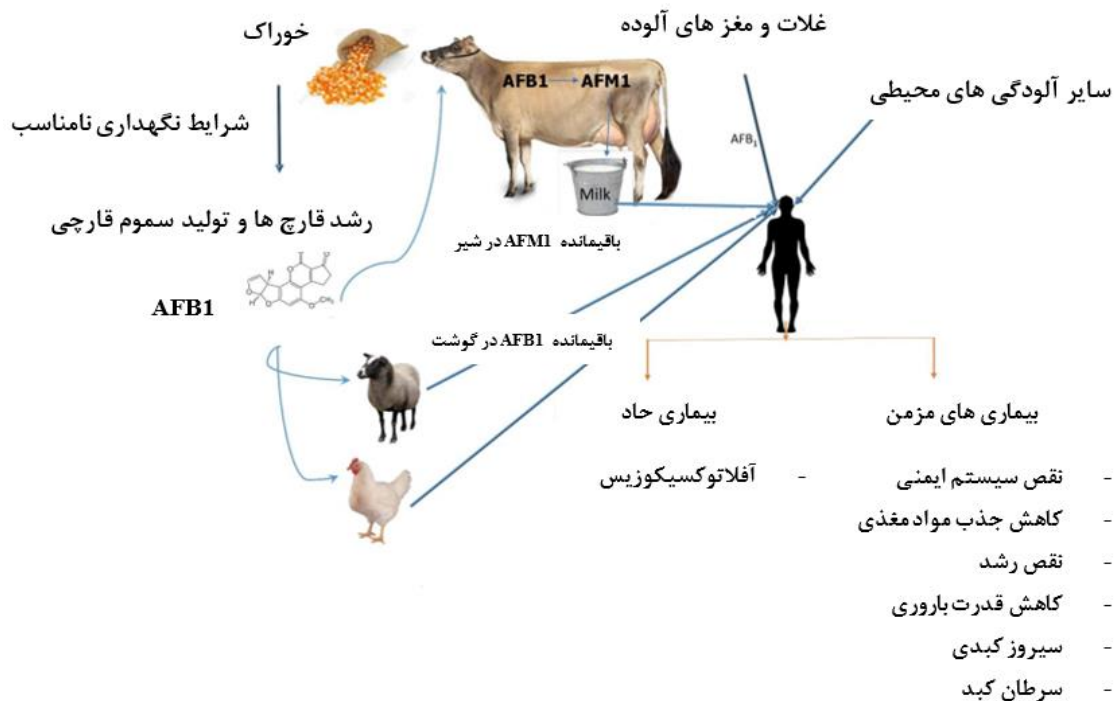
شکل ۳- ساختار شیمیایی برخی از آفلاتوکسین ها (Vila-Donat و همکاران، ۲۰۱۸).

رایج ترین رویکرد در صنعت خوراک دام، گنجاندن مواد جاذب در خوراک است، بدین ترتیب می توان سموم را با جذب در هنگام عبور از دستگاه گوارش، کم و بیش از بدن خارج کرد. استفاده از جاذب های میکوتوکسین از جمله استراتژی های اصلی برای کنترل اثرات منفی میکوتوکسین ها در صورت وجود در دستگاه گوارش دام است. ظرفیت اتصال به اندازه مولکول، ساختار و فعل و انفعالات یونی ضعیف بین مولکول های آلی و جاذب بستگی دارد. بنابراین، این تعامل ممکن است بسته به نوع جاذب و میکوتوکسین انتخابی باشد. به عنوان مثال، آلومینوسیلیکات های کلسیم سدیم هیدراته سمیت آفلاتوکسین ها را کاهش می دهد اما از اوکراتوکسین در جوجه ها نمی کاهد (Huff و همکاران، ۱۹۹۲). همچنین ظرفیت جذب بنتونیت برای آفلاتوکسین در منابع مختلف معدنی متفاوت است (Diaz و همکاران، ۲۰۰۴). به دلیل پیچیدگی شیمیایی میکوتوکسین ها اثر بخشی یک ترکیب در به دام انداختن یک میکوتوکسین به معنای توانایی برابر در

در شکل ۴ منابع آلودگی میکوتوکسین که در نهایت سلامتی انسان را تهدید می کند، نشان داده شده است. در خوراک و محصولات دامی، به ویژه حضور آفلاتوکسین ها، اکراتوکسین ها، زئارالنون، دئوکسی نیوالنول و فومونیزین ها ردیابی می شود. میکوتوکسین ها بر عملکرد (مصرف خوراک، رشد، نرخ تبدیل غذایی و غیره) تأثیر منفی می گذارند، باعث سرکوب سیستم ایمنی، افزایش حساسیت به سایر عفونت ها و عدم نتایج مطلوب در برنامه های واکسیناسیون می شوند که هر یک از این موارد منجر به خسارات اقتصادی زیادی برای صنعت دام و طیور می شود. متأسفانه خوراک معمولاً به میکوتوکسین های متعدد آلوده و اثرات سمی آن ها در کنار هم تقویت می شود. بهترین راه برای کاهش محتوای میکوتوکسین در غذا و خوراک جلوگیری از تشکیل میکوتوکسین است، اما این روش اغلب کافی و رضایت بخش نیست و روش های دیگری نیز لازم است. برای سم زدایی مواد غذایی و خوراکی های آلوده به میکوتوکسین،

۲۰۱۱). دیواره سلولی مخمر نیز امکان جذب مایکوتوکسین‌های متنوع با مکانیسم‌های اتصال مختلف (پیوندهای هیدروژنی، برهمکنش‌های یونی یا آب‌گریز) را نشان داده است (Ringot و همکاران، ۲۰۰۷). دیواره سلولی مخمر تمایل جذب زیادی برای زئاراتون دارد (Jouany و همکاران، ۲۰۰۵) و همچنین افزودن آن به جیره غذایی باعث کاهش بقایای آفلاتوکسین در شیر نیز می‌شود (Diaz و همکاران، ۲۰۰۴).

جداسازی سایر مایکوتوکسین‌ها نیست. از طرفی نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد برخی جاذب‌های شیمیایی مانند کربن فعال مایکوتوکسین‌های مختلف را به طور غیرانتخابی جذب می‌کنند و این موضوع نگرانی در خصوص برهمکنش‌های احتمالی با ویتامین‌های محلول در آب و اسیدهای آمینه (Kihal و همکاران، ۲۰۲۰) و یا سایر مواد مغذی موجود در رژیم غذایی را موجب می‌شود (Boudergue و همکاران، ۲۰۰۹). روش قابل اعتماد دیگر افزودن آنزیم‌ها یا میکروارگانیزم‌هایی است که قادر به سم‌زدایی برخی مایکوتوکسین‌ها هستند (Jard و همکاران،



شکل ۴- منابع مختلف ایجادکننده آلودگی مایکوتوکسین‌ها (Adegbeye و همکاران، ۲۰۲۰)

آلوده به مایکوتوکسین و مکمل را دریافت کردند، معنادار نبوده است، کاهش مرگ و میر و بهبود قابل توجه برخی از تغییرات بیوشیمیایی و هیستومورفولوژیکی مشاهده شد. نویسندگان افزایش گروه‌های عاملی با بار منفی در دیواره سلولی مخمر که با تغییرات pH ایجاد می‌شود را در جذب بیشتر سموم موثر دانسته‌اند (Hernández-Ramírez و همکاران، ۲۰۲۱).

بررسی کاهش آسیب‌های وارد شده به اپیتلیوم روده ای جوجه‌های گوشتی ناشی از مایکوتوکسین AFB1 با استفاده از اجزای دیواره سلولی مخمر نشان داد که با مصرف این مکمل ضریب تبدیل و افزایش وزن بهبود پیدا کرده و ارتفاع و سطح پرزها، عمق کریپت‌ها و تعداد سلول‌های جامی در پرزها افزایش یافته است. هرچند تاثیر این مکمل در عملکرد رشد جوجه‌هایی که جیره

توجه به این که گوساله‌ها سطح قابل توجهی از استرس را در هنگام تولد، از شیر گرفتن و غیره تجربه می‌کنند و یا بسترهای آلوده شرایط استرس را برای طیور تشدید می‌کنند، بی‌تردید مدیریت در این نقاط زمانی بر عملکردهای بعدی و بهره‌وری تأثیر می‌گذارد (Broadway و همکاران، ۲۰۱۵). اما به طور سنتی، دیواره سلولی مخمر به‌عنوان محصول جانبی صنعت عصاره مخمر در نظر گرفته و در نتیجه به ترکیب این محصولات توجه بسیار کمی شده است. امروزه به دلیل فعالیت‌های زیستی مؤثر اجزا دیواره سلولی مخمر در سلامت و رفاه دام و طیور، تقاضا برای محصولات بر پایه دیواره سلولی مخمر بیشتر شده است. البته ترکیب و ساختار دیواره سلول مخمر به هدف تولیدکننده سلول مخمر و فرآیندهای مختلف تولید در یک کارخانه، وابسته خواهد بود (Werf، ۲۰۱۹). مهم‌ترین دلیل این موضوع ترکیب و ساختار بسیار متغیر دیواره سلولی است که به سویه، شرایط رشد مخمر و فرآیند تولید دیواره سلولی مرتبط است. بنابراین سویه‌ها و فرآیندهای تولید (رشد مخمر و استخراج اجزا دیواره سلولی) باید جهت تولید محصولاتی که دارای خواص محرک‌رشد، تعدیل‌کننده سیستم ایمنی و جذب مایکوتوکسین باشند، به‌طور هدفمند انتخاب و طراحی شوند.

منابع

شکری، ح. ا. اسدی، ف. خسروی، ع. (۱۳۸۵). استخراج و تخلیص بتاگلوکان از دیواره سلولی مخمر ساکارومیسس سرویسیه و تأثیر آن بر فعالیت فاگوسیتوز و ترشح TNF α در موش‌های BALB/c. مجله پزشکی کوثر. شماره ۱۱، صص. ۲۵۹-۲۵۱.

عزیزپور، آ. قضائی، س. (۱۳۹۸). بررسی شیوع سروتیپ‌های سالمونلا در خوراک دام و میزان مقاومت دارویی آنها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج در مراکز درمانی. مجله پاتوبیولوژی مقایسه‌ای. دوره ۱۶، شماره ۱، صص. ۲۷۵۱-۲۷۵۸.

Abudabos, A. M., Yehia, H. M., (2013). Effect of dietary mannan oligosaccharide from *Saccharomyces cerevisiae* on live performance of broilers under *Clostridium perfringens* challenge. Italian Journal of Animal Science., 12, 231-235.

آزمایش‌های برون‌تنی تأثیر مکمل دیواره سلولی مایکوزورب A+^{۱۰} نشان داد که توانایی تعامل شیمیایی دیواره سلولی مخمر با اکرآتوکسین A، وابسته به شرایط فیزیولوژیکی دستگاه گوارش و pH است. به‌طوری‌که تغییرات در pH تغییراتی ساختاری در مولکول اکرآتوکسین A و همچنین بتاگلوکان ایجاد می‌کند که محل اتصال و در نتیجه میل به اتصال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آزمایش‌های درون‌تنی این پژوهش نشان داده است که استفاده از این مکمل در جیره در سطوح مختلف (۲، ۴ و ۸ کیلوگرم در هر تن جیره) باعث جذب اکرآتوکسین A و مانع از تجمع آن در کبد می‌شود. در این پژوهش جیره به مقدار ۰.۰۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به اکرآتوکسین A آلوده شده بود (Vartiainen و همکاران، ۲۰۲۰).

همچنین نتایج مطالعه‌ای که در مورد اثر محصولات بر پایه مخمر بر غلظت آفلاتوکسین M1 در شیر گاو انجام شده است، نشان‌دهنده کاربرد بالقوه محصولات فرعی تخمیر صنعتی، به‌ویژه دیواره سلولی و مخمر اتولیزشده به‌عنوان یک افزودنی خوراک برای کاهش آفلاتوکسین M1 در شیر بوده است به‌طوری‌که استفاده از ۲۰ گرم در روز دیواره سلولی مخمر و یا مخمر اتولیزشده در جیره غذایی گاوهای شیری که ۴۸۰ میکروگرم در روز آفلاتوکسین M1 مصرف کرده بودند میزان این سم را در شیر گاو به ترتیب ۷۸ و ۸۹ درصد نسبت به نمونه کنترل کاهش داد (Gonçaves و همکاران، ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری و توصیه ترویجی

به‌طور کلی بررسی علمی و نتایج عملکرد محصولات بر پایه مخمر (پرو و پارابیوتیک)، مزایایی مانند افزایش ایمنی و سلامتی در هنگام شرایط استرس‌زا، تعدیل‌کننده سیستم ایمنی و اصلاح‌کننده پاسخ‌های بیولوژیکی بدون تأثیر منفی بر تولید شیر یا خصوصیات لاشه را نشان می‌دهد. بخشی از این تأثیرات مثبت در نتیجه کاهش برخی از اثرات منفی مرتبط با عوامل بیماری‌زا و عوارض آنها، افزایش سلامت عمومی روده با اصلاح جمعیت میکروبی و بهبود متابولیسم دام و طیور حاصل می‌شود. از طرفی محصولات مخمر در زمان‌های استرس نیز مفید واقع می‌شوند و با

¹⁰ Mycosorb A+

- Abbeele, P. Van Den, Duysburgh, C., Rakebrandt, M., Marzorati, M., (2020). Dried yeast cell walls high in beta-glucan and mannan-oligosaccharides positively affect microbial composition and activity in the canine gastrointestinal tract in vitro. *Journal of Animal Science*. 98, 1–10.
- Abu Elala, N.M., Ragaa, N.M., (2015). Eubiotic effect of a dietary acidifier (potassium diformate) on the health status of cultured *Oreochromis niloticus*. *Journal of Advanced Research*. 6, 621–629.
- Adegbeye, M.J., Reddy, P.R.K., Chilaka, C.A., Balogun, O.B., Elghandour, M.M.M.Y., Rivas-Caceres, R.R., Salem, A.Z.M., (2020). Mycotoxin toxicity and residue in animal products: Prevalence, consumer exposure and reduction strategies – A review. *Toxicon* 177, 96–108.
- Ahiwe, E.U., Abdallah, M.E., Chang'a, E.P., Al-Qahtani, M., Omede, A.A., Graham, H., Iji, P.A., (2019). Influence of autolyzed whole yeast and yeast components on broiler chickens challenged with salmonella lipopolysaccharide. *Poultry Science*. 98, 7129–7138.
- Ahiwe, E.U., Tedeschi Dos Santos, T.T., Graham, H., Iji, P.A., (2021). Can probiotic or prebiotic yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) serve as alternatives to in-feed antibiotics for healthy or disease-challenged broiler chickens: a review. *Journal of Applied Poultry Research*. 30, 100164.
- Anwar, M.I., Muhammad, F., Awais, M.M., Akhtar, M., (2017). A review of β -glucans as a growth promoter and antibiotic alternative against enteric pathogens in poultry. *World's Poultry Science Journal* 73, 1–11.
- Barducci, R.S., Santos, A.A.D., (2020). Functional properties of the yeast cell wall against pathogens. *All about Feed*. URL <https://www.allaboutfeed.net/Specials/Articles/2020/6/Functional-properties-of-the-yeast-cell-wall-against-pathogens-601830E/>
- Boudergue, C., Burel, C., Dragacci, S., Favrot, M.C., Fremy, J.M., Massimi, C., Prigent, P., Debongnie, P., Pussemier, L., Boudra, H., Morgavi, D., Oswald, I., Perez, A., Avantaggiato, G., (2009). Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety. *Scientific Report* submitted to EFSA.
- Broadway, P.R., Carroll, J.A., Sanchez, N.C., (2015). Live Yeast and Yeast Cell Wall Supplements Enhance Immune Function and Performance in Food-Producing Livestock: A Review. *Microorganisms* 3, 417–427.
- Chacher, M.F.A., Kamran, Z., Ahsan, U., Ahmad, S., Koutoulis, K.C., Qutab Ud Din, H.G., Cengiz, O., (2017.) Use of mannan oligosaccharide in broiler diets: An overview of underlying mechanisms. *World's Poultry Science Journal*. 73, 831–844.
- Diaz, D.E., Hagler, W.M., Blackwelder, J.T., Eve, J.A., Hopkins, B.A., Anderson, K.L., Jones, F.T., Whitlow, L.W., (2004). Aflatoxin Binders II: Reduction of aflatoxin M1 in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. *Mycopathologia* 157, 233–241.
- Diaz, T.G., Branco, A.F., Jacovaci, F.A., Jobim, C., Bolson, D.C., Daniel, P., (2018). Inclusion of live yeast and mannan- oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *Plos One* February 21, 1–12.
- Elghandour, M.M.Y., Tan, Z.L., Hafsa, S.H.A., Adegbeye, M.J., Greiner, R., Ugbo, E.A., (2019). *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic feed additive to non and pseudo-ruminant feeding: a review. *Journal of Applied Microbiology*. 128(3), 658–674
- Fowler, J., Kakani, R., Haq, A., Byrd, J.A., Bailey, C.A., (2015.) Growth promoting effects of prebiotic yeast cell wall products in starter broilers under an immune stress and *Clostridium perfringens* challenge. *Journal of Applied Poultry Research* 24, 66–72.
- Geraylou, Z., Souffreau, C., Rurangwa, E., D'Hondt, S., Callewaert, L., Courtin, C.M., Delcour, J.A., Buyse, J., Ollevier, F., (2012). Effects of arabinoxylan-oligosaccharides (AXOS) on juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) performance, immune responses and gastrointestinal microbial community. *Fish & Shellfish Immunology*. 33, 718–724.
- Girgis, G., Powell, M., Youssef, M., Graugnard,

- D.E., King, W.D., Dawson, K.A., (2020). Effects of a mannan-rich yeast cell wall-derived preparation on cecal concentrations and tissue prevalence of Salmonella Enteritidis in layer chickens. PLoS One 15, e0232088.
- Gonçalves, B.L., Gonçalves, J.L., Rosim, R.E., Cappato, L.P., Cruz, A.G., Oliveira, C.A.F., Corassin, C.H., (2017). Effects of different sources of *Saccharomyces cerevisiae* biomass on milk production, composition, and aflatoxin M1 excretion in milk from dairy cows fed aflatoxin B1. Journal of Dairy Science. 100 (7), 5701-5708.
- Hernández-Ramírez, J.O., Merino-Guzmán, R., Téllez-Isaías, G., Vázquez-Durán, A., Méndez-Albores, A., (2021). Mitigation of AFB1-Related Toxic Damage to the Intestinal Epithelium in Broiler Chickens Consumed a Yeast Cell Wall. Fraction. Frontiers in Veterinary Science. 8, 1–10.
- Hoseinifar, S.H., Esteban, M.Á., Cuesta, A., Sun, Y.-Z., (2015). Probiotics and Fish Immune Response: A Review of Current Knowledge and Future Perspectives. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 23, 315–328.
- Huff, W.E., Kubena, L.F., Harvey, R.B., Phillips, T.D., (1992). Efficacy of Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate to Reduce the Individual and Combined Toxicity of Aflatoxin and Ochratoxin A1. Poultry Science. 71, 64–69.
- Jard, G., Liboz, T., Mathieu, F., Guyonvarc'h, A., Lebrihi, A., (2011). Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. Food Additives & Contaminants: Part A. Taylor & Francis, 28, 1590–1609.
- Jouany, J.-P., Yiannikouris, A., Bertin, G., (2005). How yeast cell wall components can alleviate mycotoxicosis in animal production and improve the safety of edible animal products. Journal of Animal and Feed Sciences. 14, 171–190.
- Kihal, A., Rodriguez-Prado, M., Godoy, C., Cristofol, C., Calsamiglia, S., (2020). In vitro assessment of the capacity of certain mycotoxin binders to adsorb some amino acids and water-soluble vitamins. Journal of Dairy Science. 103, 3125–3132.
- Kim, G.B., Seo, Y.M., Kim, C.H., Paik, I.K., (2011). Effect of dietary prebiotic supplementation on the performance, intestinal microflora, and immune response of broilers. Poultry Science. 90, 75–82.
- Korolenko, T., Bgatova, N., Vetvicka, V., (2019). Glucan and Mannan—Two Peas in a Pod. International Journal of Molecular Sciences 20, 3189.
- Kung, L., Kreck, E.M., Tung, R.S., Hession, A.O., Sheperd, A.C., Cohen, M.A., Swain, H.E., Leedle, J.A.Z., (1997). Effects of a Live Yeast Culture and Enzymes on In Vitro Ruminal Fermentation and Milk Production of Dairy Cows. Journal of Dairy Science. 80, 2045–2051.
- Liu, Y., Wu, Q., Wu, X., Algharib, S.A., Gong, F., Hu, J., Luo, W., Zhou, M., Pan, Y., Yan, Y.Y., Wang, Y., (2021). Structure, preparation, modification, and bioactivities of β -glucan and mannan from yeast cell wall: A review. International Journal of Biological Macromolecules. 173, 445–456.
- Werf, V.D.M.(2019.) MOS Products : Not every Yeast Cell Wall is created equal. Ohly Appl. Note 1–5.
- Marin, S., Ramos, A.J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V., (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. Food and Chemical Toxicology. 60, 218–237
- Palmer, E., (2018). Effect of Yeast Supplementation during Various Stages of Beef Production. ProQuest Diss. Theses.
- Pascual, A., Pauletto, M., Giantin, M., Radaelli, G., Ballarin, C., Birolo, M., Zomeño, C., Dacasto, M., Bortoletti, M., (2020). Effect of dietary supplementation with yeast cell wall extracts on performance and gut response in broiler chickens. Journal of Animal Science and Biotechnology. 11(40), 1-11.
- Pérez-Sotelo, L.S., Talavera-Rojas, M., Monroy-Salazar, H.G., Lagunas-Bernabé, S., Cuarón-Ibargüengoytia, J.A., De Oca Jiménez, R.M., Vázquez-Chagoyán, J.C., (2005). In vitro evaluation of the binding capacity of *Saccharomyces cerevisiae* Sc47 to adhere to the wall of Salmonella spp. Revista Latinoamericana de Microbiología. 47, 70–75.
- Ringot, D., Lerzy, B., Chaplain, K., Bonhoure, J.-

- P., Auclair, E., Larondelle, Y., (2007). In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: Comparison of isotherm models. *Bioresource Technology*. 98, 1812–1821.
- Sadeghi, A.A., Mohammadi, A., Shawrang, P., Aminafshar, M., (2013). Immune responses to dietary inclusion of prebiotic-based mannan-oligosaccharide and β -glucan in broiler chicks challenged with *Salmonella enteritidis*. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 206–213
- Santovito, E., Greco, D., Logrieco, A.F., Avantiaggiato, G., (2018). Eubiotics for food security at farm level: Yeast cell wall products and their antimicrobial potential against pathogenic bacteria. *Foodborne Pathogens and Disease*. 15, 531–537.
- Stier, H., Ebbeskotte, V., Gruenwald, J., (2014). Immune-modulatory effects of dietary Yeast Beta-1,3/1,6-D-glucan. *Nutrition Journal* 13(1), 38.
- Swyers, K.L., Carlson, B.A., Nightingale, K.K., Belk, K.E., Archibeque, S.L., (2011). Naturally Colonized Beef Cattle Populations Fed Combinations of Yeast Culture and an Ionophore in Finishing Diets Containing Dried Distiller's Grains with Solubles Had Similar Fecal Shedding of *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Protection*. 74, 912–918.
- Thacker, P.A., (2013). Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4(1), 1.
- Thanissery, R., McReynolds, J.L., Conner, D.E., Macklin, K.S., Curtis, P.A., Fasina, Y.O., (2010). Evaluation of the efficacy of yeast extract in reducing intestinal *Clostridium perfringens* levels in broiler chickens. *Poultry Science*. 89, 2380–2388.
- Vartiainen, S., Yiannikouris, A., Apajalahti, J., (2020). Comprehensive Evaluation of the Efficacy of Yeast Cell Wall Extract to Adsorb Ochratoxin A and Mitigate. *Toxins*. 12(37).1–19.
- Vila-Donat, P., Marín, S., Sanchis, V., Ramos, A.J., (2018). A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*. 114, 246–259.
- Wade, B., Keyburn, A., (2015). The true cost of necrotic enteritis. *2015;31:16e7. World Poultry*. 31, 16–17.
- White, L.A., Newman, M.C., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., (2002). Brewers dried yeast as a source of mannan oligosaccharides for weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 80, 2619–2628.
- Xue, G.-D., Wu, S.-B., Choct, M., Swick, R.A., (2017.) Effects of yeast cell wall on growth performance, immune responses and intestinal short chain fatty acid concentrations of broilers in an experimental necrotic enteritis model. *Animal Nutrition* 3(4), 399–405.