

بهبود کیفیت و ماندگاری گوشت از پرورش تا بسته‌بندی با ترکیبات زیست‌فعال طبیعی از گیاهان دارویی و علوفه مرتعی

Enhancing Meat Quality and Shelf Life with Natural Bioactive Compounds from Medicinal Plants and Pasture Forage: From Farm to Packaging

حسین رحمانی نیا^۱، جواد رحمانی نیا^{۲*}، عاطفه سیددخت^۳

۱. دانشجوی دکتری، آزمایشگاه تحقیقاتی اکولوژی کمی گیاهی و تنوع زیستی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (نگارنده مسئول)
۳. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۹ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2025.371069.1205

چکیده

رحمانی نیا، ح.، رحمانی نیا، ج.، سیددخت، ع.، بهبود کیفیت و ماندگاری گوشت از پرورش تا بسته‌بندی با ترکیبات زیست‌فعال طبیعی از گیاهان دارویی و علوفه مرتعی

نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران، دوره ۷- شماره ۱- پیاوند ۱۲- بهار و تابستان ۱۴۰۳ صفحه: ۱۳۷-۱۲۴

استرس اکسایشی و فساد میکروبی از عوامل اصلی کاهش کیفیت و ماندگاری گوشت هستند که به‌طور سنتی با آنتی‌اکسیدان‌ها و نگهدارنده‌های مصنوعی کنترل می‌شوند. با این حال، نگرانی‌های مرتبط با سلامت مصرف‌کننده و پایداری محیط زیستی موجب افزایش توجه به جایگزین‌های طبیعی شده است. مطالعات نشان می‌دهد اسانس‌های گیاهانی مانند آویشن، رزماری، میخک، پونه کوهی و دارچین، همراه با سلنیوم، ویتامین E و علوفه‌های غنی از تانن، پایداری اکسایشی و ایمنی میکروبی گوشت را بهبود می‌بخشند. ترکیبات فعال مانند اسید کارنوسیک، کارنوزول، تیمول، کارواکرول، سینامالدهید و اوژنول، رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند. این ترکیبات پراکسیداسیون لیپید را جلوگیری کرده و اثر ضد میکروبی نشان می‌دهند. سلنیوم و ویتامین E نیز دفاع آنتی‌اکسیدانی درون‌زا را تقویت می‌کنند. این هم‌افزایی در شرایط استرس حرارتی، تغذیه‌ای یا فراوری، اثربخشی را افزایش می‌دهد. همچنین، مصرف علوفه‌های حاوی این ترکیبات می‌تواند بهبود پروفایل اسیدهای چرب، سلامت روده و کبد و عملکرد متابولیک دام را به همراه داشته باشد. در کنار مدیریت تغذیه، بهره‌گیری از فناوری‌های پس از کشتار همچون نانو کپسولاسیون، پوشش‌های خوراکی و بسته‌بندی فعال، موجب تثبیت و رهایی کنترل شده آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی شده و ضمن کاهش رشد میکروبی و اکسیداسیون پروتئین و چربی، از تغییرات نامطلوب حسی گوشت جلوگیری می‌کند. به‌طور کلی، ترکیب راهبردهای تغذیه‌ای و فناوری‌های فراوری می‌تواند اثری هم‌افزا در افزایش کیفیت، ایمنی و ماندگاری گوشت ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، پایداری اکسایشی، نگهداری گوشت، بسته‌بندی فعال

مقدمه

اکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها همراه با فساد میکروبی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت و ماندگاری گوشت و فرآورده‌های گوشتی هستند. وجود اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه^۱ (PUFA) در بافت‌های عضلانی، لیپیدها را مستعد پراکسیداسیون کرده و موجب ناپایداری رنگ، طعم و بافت محصول و تشکیل ترکیبات ثانویه نامطلوب می‌شود (Loussouarn *et al.*, 2017; Salas *et al.*, 2024). پروتئین‌ها نیز در معرض تخریب اکسایشی قرار دارند که به کاهش لطافت، حلالیت و ارزش تغذیه‌ای منجر می‌شود (Lahmar *et al.*, 2018). در نتیجه، تغییرات حسی نامطلوب و تشکیل ترکیبات سمی احتمالی، ضمن تهدید ایمنی و ارزش تغذیه‌ای، پذیرش مصرف‌کننده را کاهش داده و خسارات اقتصادی به صنعت وارد می‌کند (Olvera-Aguirre *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2024).

برای مهار این فرایندها از آنتی‌اکسیدان‌ها و نگهدارنده‌های مصنوعی مانند بوتیلات هیدروکسی‌تولون^۲ (BHT) و بوتیلات هیدروکسی‌آنیزول^۳ (BHA) استفاده می‌شود، اما نگرانی‌های مرتبط با ایمنی غذایی، مقاومت میکروبی و اثرات زیست‌محیطی، کاربرد آن‌ها را محدود کرده است. در سال‌های اخیر، تمایل به استفاده از ترکیبات طبیعی افزایش یافته است؛ ترکیباتی مانند اسانس‌ها^۴، عصاره‌های

پلی‌فنولی، گیاهان دارویی و ویتامین‌ها که با مهار رادیکال‌های آزاد و رشد میکروبی، نقش حفاظتی مؤثری دارند (Loussouarn *et al.*, 2017; Petcu *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023). هم‌زمان، رشد جمعیت، شهرنشینی و آگاهی عمومی نسبت به سلامت غذا، تقاضا برای محصولات پروتئینی باکیفیت و ایمن را افزایش داده است (Rodrigues *et al.*, 2024).

در چنین شرایطی، صنایع دامی ناگزیر به کاهش وابستگی به نگهدارنده‌های مصنوعی و محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی هستند. استفاده از ترکیبات طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، جایگزینی پایدار و مؤثر برای این ترکیبات به شمار می‌رود. اسانس‌های گیاهی همچون رزماری (*Rosmarinus officinalis*) حاوی اسید کارنوسیک و کارنوزول، آویشن (*Thymus vulgaris*) و نوعی پونه کوهی (*Origanum compactum*) غنی از تیمول و کارواکرول و میخک (*Syzygium aromaticum*) سرشار از اوژنول، به دلیل ویژگی‌های عملکردی منحصربه‌فرد خود، توجه بسیاری از پژوهشگران و تولیدکنندگان را به خود جلب کرده‌اند (Avila Ramos *et al.*, 2017; Bibow & Oleszek, 2024; Harmankaya *et al.*, 2024; Loussouarn *et al.*, 2017; Ricardo-Rodrigues *et al.*, 2024).

روش بررسی مطالعات و سازمان‌دهی

موضوعی

در این تحلیل، مقالات منتشرشده در پایگاه‌های Web of Science، PubMed و Scopus طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ بررسی شدند.

۱ - Polyunsaturated fatty acids (PUFAs)

۲ - Butylated hydroxytoluene (BHT)

۳ - Butylated hydroxyanisole (BHA)

۴ - Essential oils (EOs)

این مطالعات به ارزیابی اثر آنتی اکسیدان‌های طبیعی، اسانس‌ها، ترکیبات زیست فعال گیاهی و مکمل‌های معدنی بر عملکرد دام و طیور، کیفیت گوشت و پایداری پس از کشتار اختصاص داشتند. جست‌وجو با کلیدواژه‌هایی نظیر «اسانس و کیفیت گوشت»، «رزماری، آویشن، پونه کوهی یا میخک و آنتی اکسیدان دام»، «مکمل سلیوم و گوشت»، «تانن‌های متراکم و پایداری اکسایشی» و «بسته‌بندی فعال و اسانس‌ها» انجام گرفت. مطالعات منتخب باید شامل یکی از موارد زیر می‌بودند: (الف) بررسی اثر ترکیبات گیاهی زیست فعال مانند اسانس، پلی فنول‌ها، تانن‌ها یا ریزمغذی‌هایی نظیر سلیوم و ویتامین E بر عملکرد و کیفیت گوشت؛ (ب) انجام آزمایش‌های درون تنی (*in vivo*) یا ارزیابی‌های آنتی اکسیدانی برون تنی (*in vitro*) و آزمون‌های نگهداری گوشت؛ (ج) ارائه داده‌های کمی درباره عملکرد رشد، شاخص‌های اکسایشی، بار میکروبی، رنگ، ماندگاری یا ویژگی‌های حسی. از هر پژوهش، اطلاعاتی نظیر گونه و تعداد نمونه، نوع ترکیب یا راهبرد مکمل سازی، روش کاربرد (افزودن در خوراک، کپسوله سازی یا بسته بندی فعال) و داده‌های عملکردی و بیوشیمیایی (مانند مالون دی آلدئید و گلو تاتیون پراکسیداز) استخراج شد. با وجود تنوع روش شناسی، ارزیابی کیفی مطالعات بر اساس طراحی تصادفی، وجود گروه کنترل، تکرار آزمایش‌ها و استفاده از آزمون‌های آماری و بیوشیمیایی معتبر انجام شد. یافته‌ها در چهار محور اصلی شامل مکانیسم عملکردی، اثرات تغذیه‌ای،

تأثیرات پس از کشتار و کاربرد هم افزای ترکیبات زیست فعال طبقه بندی شدند.

سازوکار عملکردی ترکیبات زیست فعال

آنتی اکسیدان‌های گیاهی شامل ترکیباتی مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین C و ترپن‌ها هستند که عمدتاً از گیاهان دارویی و میوه‌ها استخراج می‌شوند. این ترکیبات از طریق مهار رادیکال‌های آزاد، خنثی سازی پراکسیدها و کلاته کردن یون‌های فلزی، فرایند اکسیداسیون را مهار می‌کنند. ترکیبات فنولی و دی ترپنی رزماری مانند اسید کارنوسیک و کارنوزول با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید و تثبیت میوگلوبین، در حفظ رنگ و پایداری گوشت نقش دارند (Loussouarn et al., 2017). همچنین اسانس‌های آویشن، پونه کوهی، میخک و دارچین (*Cinnamomum zeylanicum*) که حاوی تیمول، کارواکرول، اوژنول و سینامالدهید هستند، با تخریب غشای سلولی باکتری‌ها و مهار اکسیداسیون چربی، فعالیت ضد میکروبی و پایداری اکسایشی گوشت را افزایش می‌دهند (Bibow & Oleszek, 2024; Ricardo-Rodrigues et al., 2024; Shaltout & Koura, 2017; Van Haute et al., 2016; Yu et al., 2023). در میان آن‌ها، اوژنول قوی ترین اثر ضد میکروبی و تیمول و کارواکرول بیشترین اثر تأخیری بر اکسیداسیون لیپید و میوگلوبین را نشان داده‌اند (Avila Ramos et al., 2017).

اثر این آنتی اکسیدان‌ها معمولاً با شاخص‌هایی مانند TBARS^۵ و عدد پراکسید سنجیده می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که این

۵ - Polyunsaturated fatty acids (PUFAs)

ترکیبات با کاهش TBARS و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز، توان دفاعی سلول را بهبود می‌بخشند. با این حال، میزان اثرگذاری آن‌ها به غلظت، نوع بافت و شرایط نگهداری وابسته است (Aguilar Campolina et al., 2023; Manassis et al., 2020; Shah et al., 2014).

کاربردهای تغذیه‌ای و اثرات پیش از کشتار

به کارگیری اسانس‌ها در جیره دامی و طیور یکی از روش‌های اصلی برای تولید و بهبود کیفیت نهایی گوشت تولیدی است. افزودن اسانس‌هایی مانند پونه، آویشن و میخک به جیره طیور، در مطالعات مختلف سبب بهبود رشد، افزایش بازده خوراک، سلامت روده و ارتقای پایداری اکسایشی گوشت شده است. این اثرات از طریق تقویت عملکرد سد روده‌ای و افزایش بیان پروتئین‌های اتصال محکم در اپیتلیوم روده حاصل می‌گردد (Zhang et al., 2023). به عنوان نمونه، ۱۰۰ mg/kg اسانس اورگانو با افزایش رسوب تیمول و کارواکرول در گوشت سینه طیور، ماندگاری آن را افزایش داده است (Avila Ramos et al., 2017). گیاهان دارویی مانند نعنا دشتی (*Mentha spicata*) و علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) نیز با بهبود راندمان خوراک، کاهش کلسترول و حفظ رنگ قرمز گوشت مؤثرند، هرچند اثر آنتی‌اکسیدانی مستقیم کمتری نسبت به اسانس‌ها دارند (Rahman et al., 2022). ترکیباتی مانند کورکومین و عصاره چای سبز (*Camellia sinensis*) نیز با تعدیل سیستم ایمنی و دفاع

آنتی‌اکسیدانی، رشد و راندمان خوراک طیور را تقویت می‌کنند (Hernández-García et al., 2025; Ogundare et al., 2025). برخی گیاهان دارویی مانند زرشک (*Berberis vulgaris*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و کاسنی (*Cichorium intybus*) نیز در سطوح مشخص به بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ویژگی‌های بافتی و غنی‌سازی اسیدهای چرب کمک می‌کنند. به عنوان نمونه، برگ زرشک در سطح ۷/۵٪ موجب بهبود لطافت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد، اما مصرف بیش از حد کارایی را کاهش داد (Rahman et al., 2022; Seyedin et al., 2022). همچنین، مکمل خرفه در سطح ۱۵٪ پایداری اکسایشی و وزن لاشه را افزایش داد (Mayahi et al., 2025) و کاسنی موجب غنی‌سازی گوشت بره با MUFA^۶ و PUFA و کاهش بیان ژن‌های لیپوژنیک گردید (Sidoruk et al., 2025).

افزودن سلنیوم آلی و ویتامین E در جیره، از طریق افزایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز، موجب بهبود ظرفیت نگهداری آب، افزایش تردی و کاهش آلودگی میکروبی - اثر غیرمستقیم از طریق پایداری اکسایشی - گوشت می‌شود (Xiao et al., 2021; Zhang et al., 2020). منابع آلی سلنیوم مانند سلنومتیونین^۷ و مخمر غنی‌شده با سلنیوم، به دلیل قابلیت فراهمی زیستی و جذب بهتر و افزایش فعالیت آنزیمی، نسبت به منابع معدنی مانند سلنیت سدیم کارایی بالاتری در بهبود رشد، ویژگی‌های

^۶ - Monounsaturated fatty acid (MUFA)

^۷ - selenomethionine

تمرکز یافته‌اند (Nikzadeh *et al.*, 2025)، ابزارهای کارآمدی برای کنترل اکسیداسیون و رشد میکروبی محسوب می‌شوند (Petcu *et al.*, 2023).

افزودن مستقیم اسانس به گوشت، شاخص‌های فساد مانند TBARS و بار میکروبی را به طور مؤثری کاهش می‌دهد. برای مثال، اسانس آویشن در غلظت ۲ درصد و دارچین در ۱/۵ درصد، ماندگاری گوشت چرخ کرده را تا شش روز افزایش داده‌اند. اسانس میخک، به دلیل محتوای بالای اوژنول، قوی‌ترین اثر مهاري را نشان داده است (Ricardo-Rodrigues *et al.*, 2024; Shaltout & Koura, 2017؛ با این حال، دوزهای بالا می‌توانند موجب طعم نامطلوب شوند (Posgay *et al.*, 2022). در مقابل، فناوری بسته‌بندی فعال امکان آزادسازی کنترل‌شده ترکیبات را فراهم کرده و اثرات حسی را به حداقل می‌رساند (Nikzadeh *et al.*, 2025؛ Yu *et al.*, 2023). پوشش‌های زئین حاوی اسانس‌های گیاهی توانسته‌اند رشد باکتری‌های شاخصی مانند استافیلوکوکوس اورئوس و اشیریشیا کلی را تا ۹۶ ساعت مهار کنند (Yu *et al.*, 2023). ترکیب اسانس رزماری و میخک در فرآورده‌های گوشتی سنتی نیز موجب کاهش بار میکروبی و افزایش ماندگاری شده است (Harmankaya *et al.*, 2024). علاوه بر این، پوشش‌های زئین غنی‌شده با ترکیباتی نظیر سینامالدئید، کارواکرول یا اوژنول فعالیت ضد میکروبی پایداري داشته‌اند و در این میان سینامالدئید بیشترین کارایی را در برابر استافیلوکوکوس اورئوس نشان داده است (Yu

لاشه، ظرفیت نگهداری آب و ماندگاری نشان می‌دهند (Zhang *et al.*, 2020). اثربخشی بالاتر سلنیوم آلی به دلیل ترکیب آن در پروتئین‌ها به شکل سلنومتیونین است که فرمی ذخیره‌ای برای سلنیوم در بافت‌هاست. در گاوهای شیری نیز ترکیب سلنیوم و ویتامین E در دوره حوالی زایمان استرس اکسایشی را کاهش داده، بروز ورم پستان را کم کرده و تولید شیر را بهبود بخشیده است (Xiao *et al.*, 2021).

در نظام‌های تغذیه‌ای مرتع محور، افزایش PUFA امگا-۳، ویتامین E و ترکیبات فیتوشیمیایی مانند پلی‌فنول‌ها در گوشت و کاهش نسبت n-6/n-3 گزارش شده است (Krusinski *et al.*, 2023; Średnicka-Tober, 2024; Subiabre *et al.*, 2016; *et al.*). مراتع چندگونه‌ای نسبت به علوفه‌های تک‌گونه، پروفایل اسیدهای چرب مفیدتر و محتوای بالاتر آنتی‌اکسیدان ایجاد می‌کنند، اگرچه عوامل مدیریتی و گونه‌ای می‌توانند سبب تفاوت در نتایج شوند (Kearns *et al.*, 2023). تانن‌های متراکم نیز در دوزهای متوسط اثرات مفیدی بر ترکیب اسیدهای چرب دارند اما در مقادیر زیاد، عملکرد تغذیه‌ای را مختل می‌کنند (Salas *et al.*, 2024; Soldado *et al.*, 2021).

رویکردهای فناورانه و اثرات پس از کشتار

تحقیقات اخیر تمرکز ویژه‌ای بر کاربرد ترکیبات زیست‌فعال در مراحل پس از کشتار و طی فرایند نگهداری داشته‌اند. فناوری‌هایی مانند بسته‌بندی فعال حاوی اسانس‌ها (Yu *et al.*, 2023)، پوشش‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر (Harmankaya *et al.*, 2024) و نانو کپسوله‌سازی

(et al., 2023).

کنترل کیفیت در مرحله تغذیه حیوان، پیش از کشتار آغاز و با فناوری‌های محافظتی پس از کشتار تکمیل می‌شود. چنین تلفیقی می‌تواند کیفیت، ایمنی و پذیرش مصرف‌کننده را به شکل هم‌زمان ارتقا دهد (Bibow & Oleszek, 2024; Petcu et al., 2023; Zhang et al., 2020).

چالش‌ها و ملاحظات کاربردی

کاربرد صنعتی ترکیبات زیست‌فعال با وجود مزایای چشمگیر، با چالش‌هایی همراه است. مهم‌ترین چالش، ناپایداری و تنوع ترکیب شیمیایی اسانس‌هاست که تحت تأثیر نوع گیاه، شرایط محیطی و روش استخراج قرار دارد و باعث تغییرپذیری نتایج می‌شود (Posgay et al., 2022)؛ بنابراین، استانداردسازی ترکیب شیمیایی و تعیین دقیق دوز-پاسخ برای ارزیابی اثربخشی ضروری است. از سوی دیگر، هنوز شناخت جامعی از مکانیسم‌های زیست‌مولکولی این ترکیبات وجود ندارد و اغلب مطالعات صرفاً بر آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی متمرکزند؛ درحالی‌که بهره‌گیری از فناوری‌های اومیکس می‌تواند مسیرهای دخیل در فعالیت زیستی را روشن‌تر سازد (Soldado et al., 2021).

در زمینه پذیرش حسی نیز ترکیباتی مانند میخک یا پونه کوهی به دلیل طعم و بوی قوی، کارایی عملی محدودی دارند. فناوری‌هایی همچون نانوفرمولاسیون، کپسوله‌سازی و ترکیب چند اسانس با نسبت‌های بهینه می‌تواند ضمن حفظ اثربخشی، شدت طعم نامطلوب را کاهش دهد. از دیدگاه نظارتی، اگرچه بسیاری از اسانس‌ها در فهرست GRAS^۸ سازمان غذا و

کپسوله‌سازی و فناوری نانو از مهم‌ترین رویکردهای نوین برای افزایش پایداری و کنترل رهایش اسانس‌ها هستند. این فناوری‌ها با افزایش پایداری ترکیبات فعال، تنظیم سرعت آزادسازی و کاهش شدت عطر و طعم، موجب ارتقای پذیرش مصرف‌کننده می‌شوند (Bibow & Oleszek, 2024). مطالعات نشان داده‌اند که اسانس خال‌واش (*Mentha pulegium*) نانوکپسوله شده توانست در دوزهای پایین، اکسیداسیون لیپید و پروتئین را در گوشت کاهش دهد (Nikzadeh et al., 2025). همچنین نانوکپسول‌های اسانس نعناع در غلظت‌های پایین بدون ایجاد تغییرات حسی، پایداری اکسایشی را افزایش دادند.

راهبردهای تلفیقی پیش و پس از کشتار

توأم شدن روش‌های تغذیه‌ای با فناوری‌های پس از کشتار ذکر شده، یک استراتژی چندلایه برای بهبود کیفیت گوشت فراهم می‌کند. گوشت تولیدی حیواناتی که با جیره‌های تقویت‌شده با سلنیوم و ویتامین E تغذیه می‌شوند، در برابر اکسیداسیون پایداری و مقاوم‌تر بوده و این امر زمانی که این رویکرد با کاربرد بسته‌بندی‌های فعال حاوی اسانس رزماری یا آویشن نیز همراه شود، بیشتر نمود پیدا می‌کند (Petcu et al., 2023; Xiao et al., 2021; Zhang et al., 2020). این هم‌افزایی سبب افزایش مقاومت در برابر فساد میکروبی و حفظ ویژگی‌های حسی می‌شود (Bibow & Oleszek, 2024; Petcu et al., 2021). مفهوم «از مزرعه تا سفره» در این چارچوب معنا می‌یابد؛ یعنی

^۸ - Generally Recognized as Safe

داروی آمریکایا قرار دارند، اما نبود استانداردهای جهانی و چارچوب‌های قانونی مشخص، مانع گسترش صنعتی آنهاست (Bibow & Oleszek, 2024). علاوه بر این، بیشتر پژوهش‌های موجود در شرایط آزمایشگاهی انجام شده‌اند و اعتبارسنجی میدانی برای کاربرد در زنجیره واقعی تأمین مواد غذایی ضروری است (Bibow & Oleszek, 2024; Posgay et al., 2022).

تحلیل کاربردها و محدودیت‌ها

اثر بخشی ترکیبات طبیعی کاملاً وابسته به دوز است. استفاده از مقادیر مناسب موجب بهبود متابولیسم و پایداری بافت می‌شود، اما مقادیر بالا می‌تواند هضم‌پذیری را کاهش داده و طعم نامطلوب ایجاد کند (Lahmar et al., 2018; Seyedin et al., 2022; Soldado et al., 2021). تانن‌ها نمونه بارزی از این رفتار «وابسته به دوز» اند؛ در مقادیر پایین موجب کاهش پراکسیداسیون چربی می‌شوند؛ ولی در دوزهای بالا عملکرد رشد را مختل می‌کنند (Salas et al., 2024)؛ بنابراین، تعیین دوز بهینه برای دستیابی به اثرات مثبت ضروری است.

فراهمی زیستی ترکیبات گیاهی نیز به‌ویژه در نشخوارکنندگان چالشی مهم است؛ زیرا بسیاری از ترکیبات فنولی پیش از جذب در شکمبه تجزیه می‌شوند. استفاده از کپسوله‌سازی و سامانه‌های حامل می‌تواند از تخریب زودهنگام جلوگیری کند (Lahmar et al., 2018; Soldado et al., 2021). در طیور، به دلیل تفاوت فیزیولوژیک، واکنش‌ها سریع‌تر و مستقیم‌تر بوده و چنین محدودیت‌هایی کمتر دیده می‌شود. این تفاوت میان گونه‌ای اهمیت طراحی راهبردهای تغذیه‌ای

متناسب با فیزیولوژی حیوان را نشان می‌دهد. ترکیب آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی با آنتی‌اکسیدان‌های تغذیه‌ای مانند ویتامین E و سلنیوم سبب تقویت هم‌زمان دفاع درون‌زا و برون‌زا می‌شود (Petcu et al., 2023; Zhang et al., 2020). این هم‌افزایی علاوه بر کنترل اکسیداسیون، مقاومت میکروبی بافت را نیز افزایش می‌دهد (Loussouarn et al., 2021; Xiao et al., 2017). با وجود قدرت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی اسانس‌هایی مانند میخک و پونه کوهی، مشکلات حسی مانعی اساسی در کاربرد صنعتی آنهاست (Bibow & Oleszek, 2024). همچنین اختلاف میان نتایج آزمایشگاهی و مطالعات *in vivo* غالباً ناشی از برهم‌کنش ترکیبات با پروتئین‌ها و لیپیدهای گوشت است که کارایی واقعی را کاهش می‌دهد. در چنین شرایطی فناوری‌هایی مانند کپسوله‌سازی، نانوامولسیون‌سازی و پوشش‌های فعال می‌توانند موجب پایداری بیشتر، رهایش کنترل‌شده و کاهش اثرات حسی شوند (Avila Ramos et al., 2017; Bibow & Oleszek, 2024; Nikzadeh et al., 2025; Yu et al., 2023).

از نظر مکانیسم عملکرد، ترکیبات فنولی مانند تیمول، کارواکرول، اوژنول و سینامالدهید از طریق خنثی‌سازی مستقیم رادیکال‌های آزاد، اختلال در غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها و مهار رشد آنها عمل می‌کنند. در مقابل، آنتی‌اکسیدان‌های معدنی و ویتامینی مانند ویتامین E و سلنیوم با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، نقش غیرمستقیم دارند (Loussouarn et al., 2017; Xiao et al., 2021).

Clostridium sp.، *aureus* و *E.coli* و همچنین حفظ رنگ و طعم، کیفیت محصول را افزایش می‌دهند (Aguiar Campolina *et al.*, 2023; Gómez *et al.*, 2020; Kearns *et al.*, 2023; Manassis *et al.*, 2020; Shah *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2023). در سال‌های اخیر بسته‌بندی‌های فعال و زیست‌تخریب‌پذیر پیشرفت قابل توجهی داشته‌اند؛ برای مثال، پوشش‌های زئین حاوی کارواکرول و سینامالدئید خواص مکانیکی و ضد میکروبی بهبود یافته‌ای ارائه کرده‌اند (Yu *et al.*, 2023) و نانوکپسول‌های برخی اسانس‌ها موجب افزایش کنترل فساد و کاهش اثرات حسی شده است (Nikzadeh *et al.*, 2025).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات زیست‌فعال طبیعی با مهار اکسیداسیون و کاهش رشد میکروبی، گزینه‌ای مؤثر برای جایگزینی نگهدارنده‌های مصنوعی در بهبود کیفیت و ماندگاری گوشت هستند. کارایی این ترکیبات و فناوری‌های بسته‌بندی تابع نوع حیوان، دوز مصرفی، ترکیب گیاه و زمان کاربرد است. ادغام رویکردهای تغذیه‌ای و فناوری‌های نوین پس از کشتار می‌تواند به بهبود کیفیت، افزایش پایداری، ارتقای پذیرش مصرف‌کننده و کاهش ضایعات کمک کند. همچنین ترکیب منابع گیاهی در تغذیه دام با فناوری‌های بسته‌بندی نوین، رویکردی پایدار و همسو با گرایش جهانی به تولید سالم و ارگانیک فراهم می‌آورد. با این وجود، برای بهره‌برداری صنعتی، انجام پژوهش‌های میان‌رشته‌ای در حوزه‌های بیوشیمی، تغذیه دام، صنایع غذایی و گیاه‌شناسی

ترکیب هم‌افزای این دو گروه می‌تواند ضمن تقویت پایداری اکسایشی، ویژگی‌های کیفی محصول را بهبود دهد.

مقایسه اسانس‌ها نشان می‌دهد که میخک بیشترین اثر مهاری را بر باکتری‌های گرم مثبت دارد و سینامالدئید در برابر کپک‌ها و باکتری‌های گرم منفی مؤثرتر است (Ricardo-Rodrigues *et al.*, 2024; Van Haute *et al.*, 2016). اسانس‌های آویشن و پونه کوهی نیز در حفظ رنگ و کاهش اکسیداسیون لیپیدها نقش دارند؛ با این حال برای حفظ پایداری عملکرد، استفاده از سامانه‌های حامل یا پوشش‌های زیست‌پایه ضروری است.

کاربرد این ترکیبات در فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر، نانوامولسیون‌ها و بسته‌بندی‌های نوین نتایج بسیار مثبتی داشته است. به عنوان نمونه، افزودن غلظت کمی از اسانس مریم‌گلی موجب مهار رشد *Escherichia coli* در گوشت چرخ کرده شده و نانوامولسیون‌های فنولی باعث کاهش شاخص TBARS و مهار *Clostridium sp.* در مورتادلا شده‌اند. همچنین پوشش‌های آلژینات حاوی آویشن کاهش قابل توجهی در بار میکروبی مزوفیل ایجاد کرده‌اند و فیلم‌های نشاسته-کیتوزان غنی شده با عصاره انار و آویشن توانسته‌اند *Listeria monocytogenes* را در گوشت گاو مهار کنند. به طور کلی، ترکیبات طبیعی با کاهش اکسیداسیون چربی و شاخص‌های TBARS موجب افزایش ماندگاری گوشت تازه و منجمد شده‌اند. آنها با مهار باکتری‌هایی مانند *Listeria sp.*، *Salmonella sp.*، *Staphylococcus*

درباره فراهمی زیستی، روابط دوز-پاسخ و
اثرات حسی همچنان ضرورت دارد.

References

- Aguiar Campolina, G., das Graças Cardoso, M., Rodrigues-Silva-Caetano, A., Lee Nelson, D. and Mendes Ramos, E. 2023. Essential oil and plant extracts as preservatives and natural antioxidants applied to meat and meat products: a review. *Food Technology and Biotechnology*, 61(2): 212-225. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.02.23.7883>
- Avila Ramos, F., Pro Martínez, A., Sosa Montes, E., Narciso Gaytán, C., Hernández Cázarez, A. S., Cibrián Tovar, J., Gallegos Sánchez, J., and Rodríguez Castillo, J. d. C. 2017. Oregano oil use in broiler diet increases accumulation of carvacrol and thymol in breast meat. *Acta universitaria*, 27(1): 34-39. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1074>
- Bibow, A., and Oleszek, W. 2024. Essential oils as potential natural antioxidants, antimicrobial, and antifungal agents in active food packaging. *Antibiotics*, 13(12): 1168. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13121168>
- Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., and Beriain, M. J. 2020. The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. *Foods*, 9(10): 1416. <https://doi.org/10.3390/foods9101416>
- Harmankaya, S., Harmankaya, A., İşbarali, K., and Paksoy, Ö. İ. 2024. Effect of rosemary and clove essential oils on lipid oxidation, microbial, sensorial properties and storage stability of kavurma, a cooked meat product. *Czech Journal of Food Sciences*, 42(4). <https://doi.org/10.17221/56/2024-CJFS>
- Hernández-García, P. A., Granados-Rivera, L. D., Orzuna-Orzuna, J. F., Vázquez-Silva, G., Díaz-Galván, C., and Razo-Ortíz, P. B. 2025. Meta-Analysis of dietary curcumin supplementation in broiler chickens: growth performance, antioxidant status, intestinal morphology, and meat quality. *Antioxidants*, 14(4): 460. <https://doi.org/10.3390/antiox14040460>
- Kearns, M., Ponnampalam, E. N., Jacquier, J.-C., Grasso, S., Boland, T. M., Sheridan, H., and Monahan, F. J. 2023. Can botanically-diverse pastures positively impact the nutritional and antioxidant composition of ruminant meat?—Invited review. *Meat Science*, 197: 109055. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109055>
- Krusinski, L., Maciel, I. C., van Vliet, S., Ahsin, M., Lu, G., Rowntree, J. E., and Fenton, J. I. 2023. Measuring the phytochemical richness of meat: Effects of

- grass/grain finishing systems and grapeseed extract supplementation on the fatty acid and phytochemical content of beef. *Foods*, 12(19): 3547. <https://doi.org/10.3390/foods12193547>
- Lahmar, A., Akcan, T., Chekir-Ghedira, L., and Estevez, M. 2018. Molecular interactions and redox effects of carvacrol and thymol on myofibrillar proteins using a non-destructive and solvent-free methodological approach. *Food research international*, 106: 1042-1048. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.039>
- Loussouarn, M., Krieger-Liszkay, A., Svilar, L., Bily, A., Birtić, S., and Havaux, M. 2017. Carnosic acid and carnosol, two major antioxidants of rosemary, act through different mechanisms. *Plant physiology*, 175(3): 1381-1394. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01183>
- Manessis, G., Kalogianni, A. I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I., and Gelasakis, A. I. 2020. Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*, 9(12): 1215. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
- Mayahi, S., Chaji, M., Shojaeian, K., and Jalilvand, G. 2025. Effect of *Portulaca oleracea* on Carcass Traits, Fatty Acid Composition, Meat Quality and Oxidative Stability of Arabi Lambs. *Veterinary Medicine and Science*, 11(2): e70224. <https://doi.org/10.1002/vms3.70224>
- Nikzadeh, H., Abdollahi, P., Weisany, W., and Yousefi, S. 2025. Nanoencapsulated *Mentha pulegium* essential oil enhances the preservation of meat quality. *Applied Food Research*: 101204. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101204>
- Ogundare, T. E., Kulkarni, R. R., Omaliko, P. C., Iwuzo, O. C., Enenya, I. G., Orimaye, O. E., Suberu, S. A., Jeje, O., and Fasina, Y. O. 2025. Effect of green tea (*Camellia sinensis*) extract on growth performance, intestinal health, and immune response of Broiler chickens during subclinical necrotic enteritis. *Pathogens*, 14(3): 260. <https://doi.org/10.3390/pathogens14030260>
- Olvera-Aguirre, G., Piñero-Vázquez, Á. T., Sanginés-García, J. R., Zárate, A. S., Ochoa-Flores, A. A., Segura-Campos, M. R., Vargas-Bello-Pérez, E., and Chay-Canul, A. J. 2023. Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17071>
- Petcu, C. D., Mihai, O. D., Tăpăloagă, D., Gheorghe-Irimia, R.-A., Pogurschi, E. N., Militaru, M., Borda, C., and Ghimpețeanu, O.-M. 2023. Effects of

- plant-based antioxidants in animal diets and meat products: A review. *Foods*, 12(6): 1334. <https://doi.org/10.3390/foods12061334>
- Posgay, M., Greff, B., Kapcsándi, V., and Lakatos, E. 2022. Effect of *Thymus vulgaris* L. essential oil and thymol on the microbiological properties of meat and meat products: A review. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10812>
- Rahman, M. A., Sultana, S., Redoy, M. R. A., Debi, M. R., Chowdhury, R., and Al-Mamun, M. 2022. Combined impact of lemongrass and spearmint herbs on performance, serum metabolites, liver enzymes, and meat quality of broiler. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 9(4): 712. <https://doi.org/10.5455/javar.2022.i640>
- Ricardo-Rodrigues, S., Rouxinol, M. I., Agulheiro-Santos, A. C., Potes, M. E., Laranjo, M., and Elias, M. 2024. The antioxidant and antibacterial potential of thyme and clove essential oils for meat preservation—An overview. *Applied Biosciences*, 3(1): 87-101. <https://doi.org/10.3390/applbiosci3010006>
- Rodrigues, S. S., Leite, A., Vasconcelos, L., and Teixeira, A. 2024. Exploring the Nexus of Feeding and Processing: Implications for Meat Quality and Sensory Perception. *Foods*, 13(22): 3642. <https://doi.org/10.3390/foods13223642>
- Salas, A. G., Bárcena-Gama, J. R., Ventura, J., Muñoz-García, C., Escobar-España, J. C., Crosby, M. M., and Hernandez, D. 2024. Bioaccessibility of condensed tannins and their effect on the physico-chemical characteristics of lamb meat. *PeerJ*, 12: e17572. <https://doi.org/10.7717/peerj.17572>
- Seyedin, S. M. V., Mojtahedi, M., Farhangfar, S. H., and Ghavipanje, N. 2022. Partial substitution of alfalfa hay by *Berberis vulgaris* leaf modulated the growth performance, meat quality and antioxidant status of fattening lambs. *Veterinary Medicine and Science*, 8(6): 2605-2615. <https://doi.org/10.1002/vms3.934>
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., and Mir, S. A. 2014. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98(1): 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.020>
- Shaltout, F. A., and Koura, H. A. 2017. Impact of some essential oils on the quality aspect and shelf life of meat. *Benha veterinary medical journal*, 33(2): 351-364. <https://doi.org/10.21608/bvmj.2017.30503>
- Sidoruk, P., Olorunlowu, S., Pawlak, P., Lechniak, D., Sznajder, J., Szczesny, J., Komisarek, J., Leško, M., Petrič, D., and Ślusarczyk, S. 2025. Potential

- of chicory (*Cichorium intybus*) sward to improve growth performance and the fatty acid profile of rumen fluid, liver, muscle, and subcutaneous fat tissues of lamb. *Animal Feed Science and Technology*: 116466. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116466>
- Soldado, D., Bessa, R. J., and Jerónimo, E. 2021. Condensed tannins as antioxidants in ruminants—Effectiveness and action mechanisms to improve animal antioxidant status and oxidative stability of products. *Animals*, 11(11): 3243. <https://doi.org/10.3390/ani11113243>
- Średnicka-Tober, D., Barański, M., Seal, C., Sanderson, R., Benbrook, C., Steinshamn, H., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., and Eyre, M. 2016. Composition differences between organic and conventional meat: a systematic literature review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*, 115(6): 994-1011. <https://doi.org/10.1017/S0007114515005073>
- Subiabre, I., Rodríguez, R. A., Aldai, N., Allende, R., and Morales, R. 2024. Pasture type effects over beef quality: A comparison. *Chilean journal of agricultural research*, 84(5): 620-631. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392024000500620>
- Van Haute, S., Raes, K., Van Der Meeren, P., and Sampers, I. 2016. The effect of cinnamon, oregano and thyme essential oils in marinade on the microbial shelf life of fish and meat products. *Food Control*, 68: 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.025>
- Xiao, J., Khan, M. Z., Ma, Y., Alugongo, G. M., Ma, J., Chen, T., Khan, A., and Cao, Z. 2021. The antioxidant properties of selenium and vitamin E; their role in periparturient dairy cattle health regulation. *Antioxidants*, 10(10): 1555. <https://doi.org/10.3390/antiox10101555>
- Yu, H., Huang, X., Zhou, L., and Wang, Y. 2023. Incorporation of cinnamaldehyde, carvacrol, and eugenol into zein films for active food packaging: Enhanced mechanical properties, antimicrobial activity, and controlled release. *Journal of Food Science and Technology*, 60(11): 2846-2857. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05802-3>
- Zhang, L., Wang, X., Huang, S., Huang, Y., Shi, H., and Bai, X. 2023. Effects of dietary essential oil supplementation on growth performance, carcass yield, meat quality, and intestinal tight junctions of broilers with or without *Eimeria* challenge. *Poultry science*, 102(9): 102874. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2023.102874>

[psj.2023.102874](https://doi.org/10.3390/ani10040615)

- Zhang, S., Xie, Y., Li, M., Yang, H., Li, S., Li, J., Xu, Q., Yang, W., and Jiang, S. 2020. Effects of different selenium sources on meat quality and shelf life of fattening pigs. *Animals*, 10(4): 615. <https://doi.org/10.3390/ani10040615>
- Zhou, T., Wu, J., Zhang, M., Ke, W., Shan, K., Zhao, D., and Li, C. 2023. Effect of natural plant extracts on the quality of meat products: A meta-analysis. *Food Materials Research*: 3(1). <https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0015>

Enhancing Meat Quality and Shelf Life with Natural Bioactive Compounds from Medicinal Plants and Pasture Forage: From Farm to Packaging

Hossein Rahmaninia¹, Javad Rahmaninia^{2*}, Atefeh Seyeddokht³

1. Ph.D. Student, Quantitative Plant Ecology and Biodiversity Research Lab., Department of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran .
2. Assistant Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding Author)
3. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

Received: October 2025 Accepted: November 2025 - DOI: 10.22092/mpt.2025.371069.1205

Abstract

Rahmaninia, H., , Rahmaninia, R., Seyeddokht, T., Enhancing Meat Quality and Shelf Life with Natural Bioactive Compounds from Medicinal Plants and Pasture Forage: From Farm to Packaging
Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 7, No. 1, 2024 18-19: 124-137(in Persian)

Abstract

Oxidative stress and microbial spoilage are major contributors to the deterioration of meat quality and shelf life. These issues have traditionally been controlled using antioxidants and synthetic preservatives. However, growing concerns about consumer health and environmental sustainability have increased interest in natural alternatives. Research indicates that essential oils from plants such as thyme, rosemary, clove, oregano, and cinnamon, when combined with selenium, vitamin E, and tannin-rich forages, can enhance the oxidative stability and microbial resistance of meat. Active compounds, including carnosic acid, carnosol, thymol, carvacrol, cinnamaldehyde, and eugenol, act as potent inhibitors of free radicals. These substances help prevent lipid peroxidation and exhibit strong antimicrobial activity. Selenium and vitamin E further support the body's endogenous antioxidant defenses, and their combined use increases effectiveness under thermal, nutritional, or processing stress. Moreover, the consumption of forages containing these bioactive compounds can improve the fatty acid profile of meat while promoting intestinal and liver health, as well as overall metabolic performance
Email address of the corresponding author: rahmaninia@asri.ir

in livestock. In addition to nutritional strategies, post-slaughter technologies such as nanoencapsulation, edible coatings, and active packaging can stabilize and gradually release natural antioxidants. These approaches reduce microbial growth and protein and lipid oxidation while preventing undesirable sensory changes in meat. Overall, integrating nutritional interventions with advanced processing technologies can create a synergistic effect that significantly improves the quality, safety, and shelf life of meat.

Keywords: Essential oils, Natural antioxidants, Oxidative stability, Meat preservation, Active packaging