مروری بر ساختار، مکانیسم و کاربرد باکتریوسین‌ها در مواد غذایی به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی

سیده مریم هاشمی نیا[1]، جلال دهقان نیا[2]*

۱- پژوهشگر فرا دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

***نویسنده مسئول:** *J_dehghannya@tabrizu.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

چکیده

در سال‌های اخیر، بروز بیماری‌های ناشی از مصرف مواد غذایی آلوده باعث نگرانی قابل توجه ای در بین مردم شده است. با وجود مکانیزم-های پیشرفته در بهداشت و بازرسی هنگام تولید مواد غذایی، میکروارگانیسم‌ها از خطرات بالقوه در طول فرآوری مواد غذایی، بسته بندی، حمل و نقل، ذخیره سازی و توزیع می باشند. جهت کاهش زیان‌های اقتصادی و خطرات جانی ناشی از بیماری‌ها و همچنین، آثار سوء استفاده از نگهدارنده‌های شیمیایی در مواد غذایی و مقاومت روزافزون میکروارگانیسم‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها، کاربرد ترکیبات ضدمیکروبی طبیعی که دارای تاثیرات کشندگی و بازدارندگی بر عوامل بیماریزا هستند، مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. باکتریوسین‌های تولید شده به کمک باکتری‌های اسیدلاکتیک مانند نایسین، لاکتیسین ۳۱۴۷، پدیوسین PA-۱ ، پدیوسین AcH، و انتروسین A و B از افزودنی‌های طبیعی ضدمیکروبی محسوب می‌شوند. پژوهش‌گران در هنگام استفاده از باکتریوسین‌ها با محدودیت‌هایی مانند توزیع نامناسب در شبکه ماده غذایی، عدم مهار باکتری‌های گرم منفی و مخمرها، عدم کارایی در محدوده pH خنثی و قلیایی و غیر فعال شدن در دماهای بالا مواجه هستند. برای برطرف نمودن مشکلات مذکور از باکتریوسین‌های فرآوری شده نظیر نایسین ریزپوشانی‌شده به جای نایسین آزاد استفاده می‌شود. همچنین، از باکتریوسین‌ها به صورت ترکیبی به همراه فرآیندهای دیگر مانند بسته‌بندی فعال، فشارهای هیدوراستاتیک بالا، میدان‌های الکتریکی پالسی، تیمارهای حرارتی ملایم و سیستم لاکتوپراکسیداز استفاده می‌شود. در این مطالعه، ابتدا مروری بر باکتریوسین‌ها از نقطه نظر ساختار و مکانیسم عمل آن‌ها و در ادامه به کاربرد باکتریوسین‌ها در مواد غذایی به عنوان نگهدارنده-های طبیعی پرداخته می‌شود.

کلید واژه‌ها: ایمنی مواد غذایی، باکتریوسین، تکنولوژی هردل، نگهدارنده طبیعی.

مقدمه

بیماری‌های قابل انتقال از غذا یکی از شایع‌ترین مشکلات بهداشت عمومی جهان می‌باشد که تاثیرات شگرفی بر اقتصاد و سلامت کشورهای در حال توسعه دارند. مسمومیت و عفونت غذایی باکتریایی دو روش انتقال بیماری‌های ناشی از غذا می‌باشد که نشانگر شیوع و گسترش مشکلات مربوط به بهداشت عمومی در جوامع است. امروزه استفاده از انواع مواد نگهدارنده شیمیایی به منظور جلوگیری از مسمومیت و عفونت غذایی باکتریایی کاربرد وسیعی یافته‌اند ولی اثرات مضر استفاده از مواد شیمیایی صنعتی درخصوص سرطان-زایی و سمیت آن‌ها برای انسان، نگرانی‌های عمومی را برانگیخته است. با توجه به پیشرفت‌های علمی در زمینه مواد غذایی، نگرش جدید به کنترل و بهبود کیفی مواد غذایی و مفهوم ایمنی غذایی، افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان و نگرانی از مصرف افزودنی‌های شیمیایی، تمایل مصرف‌کنندگان به مصرف مواد غذایی با افزودنی‌های طبیعی ضدمیکروبی افزایش یافته است. عوامل ضدمیکروبی طبیعی را می‌توان به عنوان مواد تولید شده توسط ارگانیسم‌های زنده که با سایر ارگانیسم‌ها برای رقابت جهت مواد مغذی می‌جنگند، تعریف نمود. یکی از این منابع باکتریوسین‌ها هستند

De Martinis et al., 2001; Touch et al.,) (2009.

باکتریوسین‌ها، پپتیدهای ریبوزومی سنتزکننده دارای فعالیت ضد میکروبی هستند که توسط میکروب‌های مختلفی تولید می‌شوند. باکتریوسین‌ها معمولا از رشد گونه‌ها و نژادهای باکتری‌های گرم مثبت که وابستگی نزدیکی به هم دارند، جلوگیری می‌کنند. این ترکیبات شامل پروتئین‌هایی با زنجیره کوتاه هستند که کد ژنتیکی آن‌ها عمدتا در پلاسمیدها قرار دارند. به‌عنوان مثال، کلی‌سین‌ها[1] باکتریوسین‌های *اشریشیاکلی*، دیپلوکوکوکسین[2] و نایسین[3] باکتریوسین‌های لاکتوکوکوس هستند. در میان باکتریوسین‌ها شناخته شده، باکتریوسین‌هایی که توسط باکتری‌های اسید لاکتیک تولید و تهیه می شوند، مورد توجه تولیدکنندگان مواد غذایی به عنوان افزودنی‌های طبیعی ضدمیکروبی قرار گرفته است (Cotter et al., 2005).

مطالعات متعددی در خصوص استفاده از باکتریوسین-های نظیر نایسین، لاکتیسین ۳۱۴۷[4]، پدیوسین ۱-PA[5] پدیوسین AcH[6]، انتروسین A و B[7]، ساکسین K[8] در محصولات گوشتی، لبنی، دریایی، آب میوه‌ها، سبزی‌ها به تنهایی و یا به همراه سایر فرآیندهای صنعتی نظیر فشار هیدوراستاتیک بالا[9]، میدان‌های الکتریکی پالسی[10]، بسته‌بندی فعال، تیمارهای حرارتی به منظور غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های پاتوژن و مسمومیت‌زا انجام گرفته است که در اکثر موارد با کسب نتایج مطلوب و موفقیت آمیز بوده است (Galvez et al., 2008).

در این مقاله سعی شده است ابتدا به تقسیم‌بندی انواع باکتریوسین‌ها و در ادامه به دلایل استفاده، نحوه عملکرد و انواع کاربردهای باکتریوسین‌ها در مواد غذایی به تنهایی و یا به همراه سایر فرایندهای صنایع غذایی ارائه گردد.

تقسیم‌بندی باکتریوسین‌ها

در یک سیستم تقسیم‌بندی باکتریوسین‌های تولید شده توسط باکتری‌های تولید کننده اسید لاکتیک[11] را به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌کنند. سیستم کلانهمر[12] اساسا بر مبنای خصوصیات ژنتیکی و بیوشیمی این ترکیبات استوار می‌باشد (Jay et al., 2005). دسته I شامل لانتی‌بیوتیک‌هایی هستند که حاوی پپتیدهای کوچک و مقاوم به گرما بوده و در ساختمان خود اسیدهای‌آمینه کمیاب لانتیونین[13] و متیل- لانتیون[14] دارند. لانتی‌بیوتیک‌ها به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند. زیر گروه اول ضمن اینکه دارای بار مثبت بوده، ساختمانی کشیده و انعطاف پذیر دارند. نایسین شاخص‌ترین عضو این گروه می‌باشد که با ژن-nis A ۱۷۴bp کد گذاری شده است. مولکول پیش ساز نایسین بلافاصله پس از ترجمه، پپتید حاوی ۵۷ اسیدآمینه است که اسیدآمینه غیرمعمولی ندارد. پس از تجزیه پپتید رهبر که شامل ۲۳ آمینواسید اولیه است، مولکول پرونایسین تشکیل می‌گردد. پس از مرحله آب‌گیری، مولکول فعال تشکیل می‌شود. در ادامه سرین و ترئونین به ترتیب به دهیدروآلانین و دهیدروبوتیرین تبدیل می‌شوند. شکل‌گیری حلقه سولفید بین این رشته‌های اصلاح‌شده و رشته‌های سیستئن منجر به تشکیل یک لانتیونین و چهار بتا-

۱ Colicins
۲ Diplococcin
۳ Nisin
۴ Lacticin 3147
۵ Pediocin PA-1
۶ Pediocin AcH
۷ Enterocin A & B
۸ Sakacin K
۹ High Hydrostatic Pressure
۱۰ Pulsed Electric Field

۱۱ Lactic acid bacteria
۱۲ Klaenhammer
۱۳ Lanthionin
۱۴ Methyllanthionine

متیل‌آنتیونین می‌گردد، که این مولکول کاتیونی و آب دوست است. نایسین فعال به صورت دیمرهای پایدار وجود دارد. از زیر گروه دوم می‌توان به لاکتیسین ۳۱۴۷ و لاکتوسین S[۱۵]اشاره نمود که پپتیدهای کروی با ساختمان سفت و محکم حاوی بار منفی یا خنثی هستند (Guder et al., 2000).

دسته II شامل پپتیدهای کوچک با وزن‌های مولکولی متغیر مقاوم به گرما و حاوی اسید آمینه‌های منظم هستند که بزرگترین گروه باکتریوسین‌ها در این دسته طبقه‌بندی می شوند. این گروه به ۳ زیر گروه تقسیم می‌شود. زیر گروه اول شامل باکتریوسین‌های به نام‌های ساکسین P[۱۶]، اسیدوسین CH5[۱۷]، مزینتریسین ۱۰۵Y[۱۸]، پدیوسین PA-۱ ، پدیوسین AcH و کورواسین A[۱۹]هستند که از خصوصیات ویژه این گروه می‌توان به میزان بالای فعالیت در مقابل باکتری *لیستریا مونوستیژنز*[۲۰]بیماری‌زا و داشتن پپتیدهای خطی با طول ۳۶ تا ۴۴ آمینو اسید و داشتن توالی - Tyr-Gly-Asn-Gly-Val-Xaa-Cysدر انتهای آمینی می‌باشد. *لیستریا* به عنوان باکتری سرماگرا بیماری‌زا است و گستردگی انتشار آن به همراه توانایی زنده ماندن و تکثیر در شرایط یخچالی، آن را جز باکتری-های مهم بیماری‌زا منتقله از مواد غذایی مطرح کرده-است. این باکتری در طیف گسترده‌ای از مواد غذایی خام و فرآوری شده از قبیل شیر، فرآورده‌های لبنی، انواع گوشت و فرآورده‌های گوشتی مانند گوشت گاو، خوک، سوسیس تخمیری، ماهی، میوه‌ها و سبزی‌ها یافت می‌شود (Ennahar et al., 2000).

زیر گروه دوم که شامل دو پپتید مکمل بوده که شامل لاکتوکوکسین G[۲۱]، لاکتیسین F[۲۲]، پلانتاریسین Jk[۲۳]و پلانتاریسین EF[۲۴]می‌باشند و زیر گروه سوم شامل پپتیدهای کوچک و مقاوم به حرارت هستند که از جمله آن‌ها دیورجیسین A[۲۵]می‌باشد (Ennahar et al., 2000).

دسته III پپتیدهای بزرگ حساس به گرما با وزن مولکولی بالای ۳۰ کیلو دالتون هستند. در این گروه، باکتریوسین‌های هلوتیسین J[۲۶]و هلوتیسین V[۲۷]جای می‌گیرند. باکتریوسین هلوتیسین J یک پروتئین ۳۷ کیلو دالتونی با میزبان محدود است که توسط لاکتوباسیلوس هلویتکوس[۲۸] تولید می‌شود. بیشتر اطلاعاتی که در مورد این مولکول آشکار شده است از توالی نوکلئوتیدی ژن کروموزومی J *hly* ناشی شده است. در جدول شماره ۱ تعدادی از باکتریوسین‌ها به همراه دسته، گونه‌های تولید کننده و گونه‌های تاثیرگذار نشان‌داده شده است (Ennahar et al., 2000).

دسته IV شامل باکتریوسین‌های پیچیده هستند که تحقیقات کمتری درباره آن‌ها صورت گرفته است (Ennahar et al., 2000).

۱۵ Lactocin S
۱۶ Sakacin P
۱۷ Acidocin CH5
۱۸ Mesentericin Y105
۱۹ Curvacin A
۲۰ *Listeria monocytogenes*

۲۱ Lactococcin G
۲۲ Lactacin F
۲۳ Plantaricins JK
۲۴ Plantaricins EF
۲۵ Divergicin A
۲۶ Helveticins J
۲۷ Helveticins V
۲۸ *Lactobacillus helveticus*

جدول ۱: باکتریوسین‌های تولیدشده توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک و برخی از ویژگی‌های آن‌ها

گونه تولید کننده	باکتریوسین	گونه مورد هدف	دسته	تعداد اسید آمینه
Lactococcus lactis subsp. lactis	Nisin	باکتری‌های گرم مثبت	I	۳۴
	Lacticin 3147	*Clostridium sp* *Listeria monocytogenes* *Staphylococcus aureus* *Streptococcus dysgalactiae* *Enterococcus faecalis* *Propionibacterium acne* *Streptococcus mutans*	I- نوع B	۵۹
Leuconostoc mesenteroides	Mesentericin Y105	*Enterococcus faecalis* *Listeria monocytogenes*	IIa	۳۶
Lactobacillus acidophilus	Lactacin F	*Lactobacillus fermentum* *Enterococcus faecalis* *Lactobacillus delbrueckii* *Lactobacillus helveticus*	IIb	۵۶
Pediococcus acidilactici	Pediocin PA-1	*Listeria monocytogenes*	IIa	۴۴
Lactobacillus helveticus	Helveticin J	*Lactobacillus bulgaricus* *Lactococcus lactis*	III	۳۳۳
Lactobacillus curvatus	Curvacin A	*Listeria monocytogenes* *Enterococcus faecalis*	IIa	۳۸ - ۴۱
Lactobacillus sake	Lactocin S	*Lactobacillus* *Leuconostoc* *Pediococcus*	I- نوع B	۳۷
	Sakacin P	*Listeria monocytogenes*	IIa	۴۱
Enterococcus faecium	Enterocin A	*Listeria monocytogenes* *Pediococcus*	IIa	۴۷
Leuconostoc gelidum	Leucocin A	*Lactobacillus* *Enterococcus faecalis* *Listeria monocytogenes*	IIa	۳۷

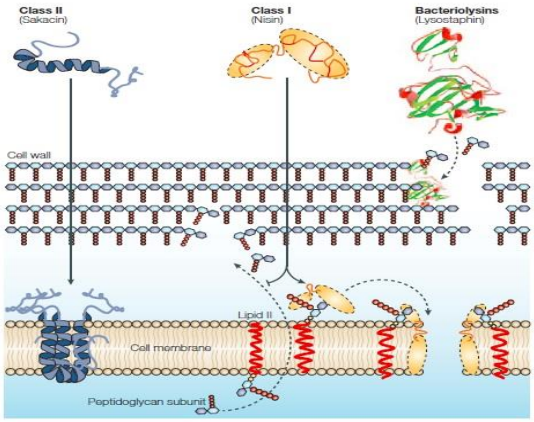
مکانیسم عمل باکتریوسین‌ها

مکانیسم عمل باکتریوسین‌ها متفاوت بوده و باکتریوسین‌ها می‌توانند علاوه بر ساختار، بر مبنای نحوه عملکردشان نیز تقسیم‌بندی گردند که در شکل ۱ نشان داده شده است. تعدادی از باکتریوسین‌های گروه اول مانند نایسین به حالت دوگانه رفتار می‌کنند. نایسین یک لانتی‌بیوتیک دارای سی و چهار اسید آمینه می‌باشد که توسط سوش‌های *لاکتوکوکوس لاکتیس*[۱] زیر گونه لاکتیس تولید می‌شود که کد ژنتیکی مربوط آن، هم روی DNA پلاسمید و هم روی DNA کروموزومی قرار دارد. آمینواسیدهای پایانه C آن‌ها مشابه ولی پایانه N آن‌ها متفاوت می‌باشد. نایسین یک ترکیب آب‌گریز بوده و توسط متابی‌سولفیت، اکسید تیتانیوم و بعضی از آنزیم‌های پروتئولیک تجزیه می‌شود. این ترکیب در برابر باکتری‌های گرم مثبت و عمدتا اسپورزاها موثر و در برابر قارچ‌ها و باکتری‌های گرم منفی بدون تاثیر است. *انتروکوکوس فکالیس*[۲] یکی از مقاوم‌ترین باکتری‌های گرم مثبت با این ماده می‌باشد. از ویژگی‌های مطلوب نایسین به عنوان یک ماده نگهدارنده غذایی می‌توان به غیرسمی بودن، طبیعی بودن، قابلیت انبارمانی بسیار خوب، قابلیت تجزیه

۱ *Lactococcus lactis*

۲ *Enterococcus faecalis*

توسط آنزیم‌های هضم‌کننده و عدم تغییر طعم یا بو در غذا اشاره نمود (Jay et al., 2005).



شکل ۱: مکانیسم عمل باکتریوسین‌ها (Cotter, 2005)

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، سلول هدف نایسین، غشاء سیتوپلاسمی است و برای اتصال به غشاء سلولی نیاز به گیرندهٔ خاصی ندارد. بنابراین می‌تواند به اکثر باکتری‌های گرم مثبت متصل شود. نایسین می‌تواند به چربی II که انتقال دهنده اصلی زیرواحدهای پپتیدوگلیکان از سیتوپلاسم به دیواره سلولی است، متصل شده و در نتیجه باعث جلوگیری از سنتز دیواره سلولی شود و از طرف دیگر نایسین می‌تواند چربی II را به عنوان یک بخش اساسی و تاثیرگذار از ساختار غشاء خارج کرده و موجب تشکیل منافذ و در نهایت منجر به مرگ سریع سلولی شوند (Kramer et al., 2008). از دیگر باکتریوسین‌های گروه اول، لاکتیسین ۳۱۴۷ است که باکتریوسین مقاوم در برابر حرارت، تولید شده توسط *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیر گونه لاکتیس است که توانایی جلوگیری از رشد پاتوژن‌های غذایی نظیر *استافیلوکوکوس اورئوس*[۱]، *کلستریدیوم*[۲] و *لیستریا*[۳] را دارد. باکتریوسین مذکور از دو پپتید با فعالیت ویژه بیولوژیک تشکیل شده است و توانایی انجام هر دو مکانیسم مذکور را دارد. از دیگر باکتریوسین‌های گروه اول، مرساکدین[۴] می‌باشد که فقط توانایی اتصال به چربی II را دارا بوده و با استفاده از این روش موجب مرگ سلول می‌شوند (Kramer et al., 2008).

مکانیسم عمل باکتریوسین‌های دسته II متفاوت از باکتریوسین‌های گروه اول می‌باشد به طوریکه ساختار مارپیچ آمفی فیلیک[۵] باکتریوسین‌های دسته II شرایط را به گونه‌ای فراهم می‌کند که باکتریوسین‌های مذکور وارد غشاء شده و موجب دپلاریزه شدن و در نهایت منجر به مرگ سلول می‌شود. به عنوان نمونه، باکتریوسین ساکاسین که توسط *لاکتوباسیلوس ساکی*[۶] تولید می‌شود از طریق اعمال چنین مکانیسمی توانایی جلوگیری از رشد *لیستریا مونوسیتوژنز*[۷] و *انتروکوکوس فکالیس* را داراست (Kramer et al., 2008).

باکتریوسین‌های دسته III که تحت نام باکتریولیزین[۸] خوانده می‌شوند نیز به روشی متفاوت از دو گروه اول رفتار می‌کنند. باکتریوسین‌های مذکور می‌توانند به طور مستقیم بر روی دیواره سلولی عمل کرده و در نهایت موجب تجزیه و مرگ سلول شوند. به عنوان نمونه، لیزوستافین، باکتریوسین (پپتیدوگلیکان هیدرولاز) تولید شده توسط *استافیلوکوکوس سیمولانس*[۹] است که موجب شکسته شدن پیوند پپتیدی بین دو گلایسین مجاور در پل‌های پپتیدی پپتیدوگلیکان دیواره سلولی استافیلوکوک‌ها می‌گردد (Kumar et al., 2008).

کاربرد باکتریوسین‌ها در مواد غذایی

۱ *Staphylococcus aureus*
۲ *Clostridium*
۳ *Listeria*
۴ Mersacidin
۵ Amphiphilic
۶ *Lactobacillus saki*
۷ *Listeria monocytogenes*
۸ Bacteriolysins
۹ *Staphylococcus simulans*

اگر چه تاکنون باکتریوسین‌های متعددی توسط پژوهش‌گران شناسایی شده است و مصرف برخی از آنها مانند پدیوسین و لاکتیسین رو به گسترش می باشد، اما نایسین مهم‌ترین و شناخته‌ترین باکتریویسین مورد استفاده در محصولات غذایی مانند سبزیجات کنسرو شده، فرآورده‌های لبنی مختلف مانند پنیر، شیر پس-چرخ، محصولات تخم مرغ مایع و سس سالاد در بیش از پنجاه کشور جهان می‌باشد. قابلیت نگهداری نایسین اولین بار در زمانی که استارترهای تولیدکننده نایسین مانع از تولید گاز توسط کلستریدیوم‌ها در پنیر شدند، مورد توجه قرار گرفت و پس از آن تحقیقاتی گسترده به منظور درک چگونگی عملکرد آن صورت گرفت. دسترسی به باکتریوسین‌ها در مواد غذایی به چندین صورت امکان پذیر می‌باشد. یکی از این روش‌ها، تلقیح مواد غذایی با استارترهای تولیدکننده باکتریوسین هست که منجر به تولید باکتریوسین در آن محیط گردد. در حالت دوم بکار بردن مواد غذایی است که قبلا توسط گونه‌هایی تولیدکننده باکتریوسین‌ها تخمیر شده و به عنوان افزودنی در صنایع مختلف غذایی استفاده می‌شوند و در آخرین حالت استفاده از باکتریوسین‌های خالص می‌باشد که به‌صورت تجاری تولید شده‌اند و به مواد غذایی تزریق یا اضافه می‌شوند. با توجه به اهمیت حضور و مصرف باکتریوسین‌ها در مواد غذایی، ملاحظات و ویژگی‌های خاصی برای این مواد تعریف شده است. به عبارت دیگر، از ویژگی‌هایی که یک باکتریوسین مورد استفاده در صنعت غذا باید داشته باشند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. ۱) مورد تایید سازمان‌های نظارت‌کننده بوده و با تصویب سازمان جهانی بهداشت به عنوان یک ماده GRAS[1]طبقه‌بندی شده باشند. ۲) نسبت به حرارت مقاوم باشد. ۳) استفاده از آن منجر به بهبود ایمنی، کیفیت محصول گردد، بدون اینکه هیچگونه تاثیر منفی بر ویژگی‌های حسی داشته باشد (Chen et al., 2003).

پژوهش‌گران در هنگام استفاده از باکتریوسین‌ها با محدودیت‌هایی نظیر طیف محدود فعالیت، توزیع نامناسب در شبکه ماده غذایی، عدم مهار باکتری‌های گرم منفی و مخمرها، عدم پایداری در طول مدت انبار-مانی، سازگاری ضعیف با محیط‌های مواد غذایی، عدم کارایی برخی باکتریوسین‌ها در محدوده pH خنثی و قلیایی، میان‌کنش با قندهای احیاکننده و ایجاد پیوند با لیپیدها و پروتئین‌ها، غیر فعال شدن در دماهای بسیار بالا، غیر فعال شدن توسط آنزیم‌های مواد غذایی، ظهور گونه‌های مقاوم به باکتریویسین و میزان انتشار محدود در بستر جامد مواجه هستند (Boziaris et al., 2001). با توجه به موارد ذکر شده، پژوهش‌گران راهکارهایی را برای برطرف نمودن مشکلات مذکور عنوان نموده اند. استفاده از باکتریوسین‌هایی فرآوری شده نظیر نایسین ریزپوشانی‌شده به جای نایسین آزاد و استفاده ترکیبی از باکتریوسین‌ها یه همراه فرآیندهای مناسب دیگر نظیر بسته‌بندی فعال، فشار هیدوراستاتیک بالا، میدان‌های الکتریکی پالسی تحت عنوان فناوری ترکیبی از مهمترین روش‌های مذکور می‌باشد. استفاده از هر دو تکنیک فوق باعث جبران کارایی پایین باکتریوسین‌ها و افزایش سطح سلامت و بهداشت مواد غذایی شده که در قسمت پیش روی بطور مفصل توضیح داده خواهد شد.

استفاده از تکنولوژی ریزپوشانی[2]

ریز پوشینه‌سازی، فرایندی است که در آن ذراتی مانند نایسین به وسیله پوششی از مواد آلی یا معدنی احاطه می‌شود. مواد داخل پوشش را هسته و پوشش را غشاء می‌نامند. هدف از تولید و استفاده از ریزپوشینه‌ها، رهاسازی کنترل‌شده مواد هسته در زمان مشخص و تثبیت غلظت آن در محیط مصرف می‌باشد

۱ Generally Recognized As Safe

۲ Microencapsulation

(Hasheminya et al., 2013). ریز پوشینه‌سازی نایسین یا به عبارت دیگر درون پوشانی نایسین در گویچه‌های فسفولیپیدی (لیپوزوم) توسط برخی از پژوهش‌گران مورد بررسی قرار گرفته‌است. به منظور تولید لیپوزوم از روش‌های سونیکاسیون، هموژنیزاسیون، ریزسیال‌سازی، تبخیر فاز معکوس، تخلیه ترکیب میسلی لیپید- دترجنت، خشک‌کردن انجمادی و روش حرارتی استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیقات پژوهش‌گران حاکی از تاثیر معنی‌دار عملکرد نایسین محصور در نانوکپسول‌های لیپوزومی بر روند کاهش جمعیت باکتریایی نظیر *لیستریا* در مقایسه با نایسین آزاد بوده است (Zaerzadeh et al., 2011).

استفاده از تکنولوژی هردل[1]

اغلب تکنولوژی‌های نگهداری مواد غذایی با کنترل عواملی نظیر فعالیت‌آبی، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء، وجود یا عدم وجود اکسیژن، وجود نگهدارنده‌ها، pH، غلظت مواد محلول و وجود سوبسترا که بیشترین تاثیر را بر رشد و بقای میکروارگانیسم‌ها دارند، موجب تاخیر یا غیرفعال‌سازی آن‌ها می‌شوند. در سال‌های اخیر ترکیب عوامل بازدارنده برای نگهداری مواد غذایی در جهت کنترل فساد میکروبی و مسمومیت غذایی توسط لیستنر و همکاران تحت نام اثر هردل یا فناوری ترکیبی توسعه و معرفی شده است (Goyeneche et al., 2014). فناوری ممانعت از ورود[2]، نگهداری مرکب[3]و روش‌های ترکیبی از جمله سایر واژه‌های هستند که برای این مفهوم به کار می‌روند. به عبارت دیگر هدف از بکارگیری این روش به‌گونه‌ای است که استفاده ترکیبی از فرایندها و عوامل نگهدارنده در غیرفعال ساختن میکروب‌ها نسبت به استفاده از هر یک از عوامل به تنهایی بسیار موثرتر واقع گردد. هردل ممکن است به صورت متوالی به عنوان یک‌سری از مراحل فرآوری، یا به‌صورت همزمان به‌کار گرفته شود. درخواست و تقاضای مصرف‌کنندگان به مواد غذایی که فرآوری کمتری را متحمل شده و حاوی افزودنی‌های کمتری هستند، موجب گرایش تولیدکنندگان مواد غذایی به سمت انتخاب و انجام فناوری ترکیبی شده است. ضمن اینکه استفاده و کاربرد تکنولوژی هردل درکشورهای در حال توسعه که فاقد تجهیزات زیر بنایی زنجیره سرد قابل اطمینان هستند، روشی مناسب و بدون نیاز به سردسازی در یخچال به منظور تامین مواد غذایی سالم و بهداشتی مصرف‌کنندگان می‌باشد. از جمله هردل‌های فیزیکی برای نگهداری مواد غذایی می‌توان به بسته بندی فعال، فشار هیدوراستاتیک بالا، میدان‌های الکتریکی پالسی، اتمسفرهای اصلاح‌شده و از جمله هردل‌های مشتق شده میکروبی می‌توان به باکتریوسین‌ها اشاره داشت (McNamee et al., 2010).

باکتریوسین‌ها به همراه بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی‌های فعال از انواع بسته‌بندی‌های نوین در صنعت مواد غذایی می‌باشد که توانایی انتقال و حمل افزودنی‌های غذایی بیواکتیو همچون طعم دهنده‌ها، مواد ضد میکروبی مانند نایسین، آنتی‌اکسیدان و آنزیم-ها را دارند. بسته‌بندی‌های فعال علاوه بر داشتن خواص بازدارندگی اصلی بسته‌بندی‌های معمول مانند خواص بازدارندگی در برابر گازها و بخار آب و تنش‌های مکانیکی، توانایی کنترل فساد شیمیایی و کنترل عوامل بیماری‌زا و فساد باکتریایی را دارند (Hasheminya et al., 2018).

در روش بسته‌بندی فعال ضدمیکروبی، ترکیب بیواکتیو، به صورت مستقیم به ماده غذایی اضافه نگردیده و انتشار مواد ضدمیکروبی از ماتریکس پلیمری به سطح مادهٔ غذایی بصورت آهسته و در مدت زمان طولانی انجام می‌شود و به این ترتیب مادهٔ ضدمیکروبی برای

۱ Hurdle
۲ Barrier technology
۳ Combination preservation

مدت طولانی در سطح فرآورده وجود خواهد داشت (Hasheminya et al., 2019a). در نتیجه مواد ضدمیکروبی از طریق کاهش سرعت رشد و طولانی-کردن فاز تأخیری میکروارگانیسم‌ها و یا غیرفعال‌کردن میکروب‌ها باعث افزایش ماندگاری فرآورده‌های غذایی می‌شوند که نتیجه حاصل در مقایسه با روش مرسوم استفاده مستقیم از مواد ضدمیکروبی، حائز اهمیت خواهد بود (Hasheminya et al., 2019b).

باکتریوسین‌ها از جمله مواد ضدمیکروبی مورد استفاده در بسته‌بندی فعال می‌باشد و نایسین، پیوسین و لاکتی‌سین از رایج‌ترین باکتریوسین‌های مورد استفاده می‌باشند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های گوناگونی درباره استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های ضدمیکروبی حاوی باکتریوسین‌ها به منظور کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها انجام شده است. به طور مثال در تحقیقی، اثر فیلم پروتئینی آب پنیر و نایسین، به منظور کنترل *لیستریا مونوسیتوژنز*، بروکوتریکس ترموسفاکتا[1] *استافیلوکوکوس اورئوس*، سالمونلا تیفی[2] و *اشریشیاکلی* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی نایسین کاملا از رشد *بروکوتریکس ترموسفاکتا* جلوگیری نموده و تا حدودی مانع رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* شدند. همچنین در تحقیقاتی دیگر، استفاده از فیلم‌های حاوی باکتریوسین‌های انتروسین A و B، ساکسین K، نایسین و پتاسیم لاکتات موجب مهار *لیستریا مونوسیتوژنز* در گوشت گردید (Aymerich et al., 2008). استفاده از باکتریوسین‌های دیگر نظیر لاکتیسین ۳۱۴۷ و نایسین به همراه فیلم‌های بسته‌بندی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج، نشان از نقش موثر فیلم‌های بسته‌بندی حاوی لاکتیسین ۳۱۴۷ و نایسین در مهار *استافیلوکوکوس اورئوس* در قطعات پنیر و همبرگر داشت (Scannel et al., 2007).

باکتریوسین‌ها به همراه فرآوری فشار هیدرواستاتیک بالا

فرآوری مواد غذایی با فشار بالا یک فناوری جدید غیرگرمایی است که در آن مواد غذایی در دمای اتاق در معرض فشار هیدرواستاتیک بالا در گستره ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مگا پاسکال قرار می‌گیرند. استفاده از فرآوری فشار بالا با ایجاد تغییرات زیاد در سیستم‌های بیولوژیکی، مورفولوریکی، بیوشیمیایی و ژنتیکی غشاء سلولی و دیواره سلولی، موجب غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها و در نهایت منجر به افزایش عمر نگهداری و ارتقاء سطح بهداشت مواد غذایی می‌گردد (Al-Nehlawi et al., 2014). غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها با استفاده از فرآوری فشار هیدوراستاتیک بالا بستگی به ترکیب مواد غذایی مانند محتوای رطوبت، چربی و نمک، pH و اسیدیته، فعالیت آبی، فشار اسمزی و درجه حرارت دارد (Black et al., 2005).

غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها با استفاده از فراوری فشار هیدوراستاتیک بالا در حضور مواد ضدمیکروبی مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده است که اثر ضدمیکروبی فرآوری فشار هیدوراستاتیک بالا به همراه نایسین، افزایش می‌یابد. پدیوسین AcH، باکتریوسین دیگری است که توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور مثال، میکروارگانیسم-هایی نظیر *استافیلوکوکوس اورئوس*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، *سالمونلاتیفی* و *اشریشیاکلی* در حضور مخلوط ۳۰۰ AU/ml پدیوسین AcH و نایسین در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ده دقیقه، تحت فشار ۳۴۵ مگاپاسکال قرار گرفتند و در نهایت نتایج نشان داد که میزان فعالیت آن‌ها به میزان ۱/۳ تا ۱/۵ سیکل لگاریتمی کاهش یافته است (Kalchayanand et al., 1994). در پژوهشی دیگر نیز از ۳۰۰ AU/ml پدیوسین AcH در دمای ۴۵ تا ۵۰ درجه‌سانتی‌گراد، تحت فشار ۴۵۰ مگاپاسکال تحت

1 *Brocotrix thermosphacta*
2 *Salmonella Typhi*

فرایند فشار هیدوراستاتیک بالا به منظور غیرفعال‌سازی *استافیلوکوکوس اورئوس*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، *سالمونلاتیفی* و *اشریشیاکلی*، *سودوموناس فلورسنس*[1]، *سراتیا لیکوئیفاسینیس*[2] استفاده گردید که نتایج نشان از کاهش ۸ سیکل لگاریتمی در جمعیت میکروارگانیسم‌های مذکور بود (Alpa et al., 2000). همچنین پژوهش‌گران در تحقیقی دیگر از باکتریوسین-هایی نظیر انتروتوسین‌های A و B به همراه فرایند فشار هیدوراستاتیک بالا به منظور غیرفعال‌سازی *لیستریا مونوسیتوژنز* در همبرگر استفاده نمودند که نتایج حاکی از غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم مذکور بود (Garriga et al., 2002).

همچنین قابل ذکر است که چگونگی عملکرد استفاده از تیمار ترکیبی نایسین و فراوری فشار هیدوراستاتیک بالا در مورد غیرفعال‌سازی سلول‌های رویشی و اسپورها متفاوت می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از نایسین به همراه فراوری فشار هیدوراستاتیک بالا در حدود ۴۰۰ مگاپاسکال هیچگونه تاثیر مثبتی بر بهبود کارایی فرآوری فشار هیدوراستاتیک بالا در خصوص غیرفعال‌سازی اسپورهای *باسیلوس سرئوس*[3] نداشته است. این در حالی است که تیمار مذکور توانایی غیرفعال‌سازی باکتری *باسیلوس سرئوس* به فرم رویشی را دارد (Lopez et al., 2003).

باکتریوسین‌ها به همراه تیمار حرارتی

از باکتریوسین‌ها به عنوان کاهش‌دهنده فرایند حرارتی، بدون هیچ‌گونه عملکرد منفی بر فرایند غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها یاد می‌شود. پژوهش‌های متعددی درباره کاربرد نایسین به عنوان کاهش‌دهنده فرایند حرارتی در کنسروهای غذایی به عنوان بازدارنده رشد اسپورهای *باسیلوس* و *کلستریدیوم* که دچار شوک حرارتی شده‌اند، انجام گرفته است. به منظور غیر فعال-سازی اندوسپورهای *کلستریدیوم بوتولینوم* و میکروارگانیسم‌های عامل فساد در کنسروهای غذایی کم اسید از فرایند حرارتی با F معادل ۶ تا ۸ استفاده می‌شود. اما با افزودن نایسین، فرایند حرارتی تا F معادل ۳ کاهش می‌یابد که در نتیجه موجب افزایش کیفیت غذاهای کنسرو شده خواهد شد. نایسین از طریق عمل‌کردن در مراحل اولیه چرخه جوانه‌زنی اندوسپور موجب عدم جوانه‌زنی آن‌ها می‌شود. این در حالی‌است که استفاده از تیمار حرارتی ملایم، قادر به غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های عامل فساد نیست (Jay et al., 2005). در پژوهش‌های دیگر نیز تاثیر استفاده از نایسین و تیمار حرارتی بر میکروارگانیسم-های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته‌است. به‌عنوان مثال استفاده از نایسین و تیمار حرارتی موجب اثر تشدیدکنندگی علیه باکتری‌های *لیستریا مونوسیتوژنز* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*[4] گردید (Gálvez et al., 2007). همچنین در تحقیقی دیگر، از نایسین به میزان ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به همراه استفاده از تیمار حرارتی ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج دقیقه به منظور از بین بردن *لیستریا مونوسیتوژنز* در خرچنگ بسته‌بندی شده، استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از تیمار ترکیبی نایسین و حرارت ملایم موجب کاهش ۳ تا ۵ سیکل لگاریتمی *لیستریا مونوسیتوژنز* در مقایسه با استفاده از کاربرد نایسین تنها بود که فقط قادر به کاهش میزان ۱ تا ۳ سیکل لگاریتمی میکروارگانیسم مذکور می‌گردید (Jay et al., 2005).

باکتریوسین‌ها به همراه فرآوری میدان‌های الکتریکی پالسی

میدان‌های الکتریکی پالسی به عنوان یکی از روش‌های غیرحرارتی نگهداری مواد غذایی می‌باشد. در این روش ماده غذایی با استفاده از میدان الکتریکی با پالس‌های

1 *Pseudomonas fluorescens*
2 *Serratia liquefaciens*
3 *Bacillus cereus*
4 *Lactobacillus plantarum*

کوتاه تحت شرایط محیطی و با دماهای پایین در مدت زمان کوتاه و با صرف انرژی کم، فرآوری می‌گردد. سرعت غیرفعال‌شدن میکروارگانیسم‌ها با افزایش قدرت میدان الکتریکی، تعداد پالس‌ها، مدت زمان پالس، شکل پالس، دمای محیط، مرحله رشد باکتری، هدایت الکتریکی و قدرت یونی محیط افزایش می‌یابد. مرگ سلول‌های میکروبی در فرآوری میدان‌های الکتریکی پالسی، به علت مختل شدن عمل غشای سلولی و الکتروپوراسیون[1] یا به عبارت دیگر تولید منافذی در غشاء توسط جریان الکتریکی، بدون افزایش درجه حرارت، قابل ملاحظه می‌باشد. امروزه، استفاده از این روش نگهداری مواد غذایی به طور چشمگیری افزایش یافته است (Wang et al., 2014).

استفاده از نایسین در محیط‌های کشت مختلف، اثر غیرفعال‌کنندگی میدان الکتریکی بر باکتری‌های گرم مثبت و منفی را افزایش می‌دهد. اثر سینرژیستی این دو فاکتور نگهداری، در زمانی که با هم در فرایند میدان‌های الکتریکی پالسی به‌کار گرفته می‌شود، مشهود می‌باشد (Saldana et al., 2012). نتایج یک تحقیق نشان داده است که استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی با ۵۰/۷ KV/cm، زمان ۲ میکروثانیه، ۱۶/۵ پالس به همراه ۰/۰۶ ppm نایسین در مقایسه با استفاده از نایسین و فرایند میدان الکتریکی پالسی به تنهایی، موجب کاهش ۱/۸ سیکل لگاریتمی سلول‌های رویشی *باسیلوس سرئوس* شد (Pol et al., 2000). همچنین در تحقیقی دیگر آب پرتغال تازه تحت فرایند استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی با ۸۰ KV/cm، دمای ۴۴ درجه سانتی گراد، ۲۰ پالس به همراه ۱۰۰IU/ml نایسین قرار گرفت و میزان تعداد کل میکروارگانیسم‌های هوازی بیش از ۶ سیکل لگاریتمی کاهش یافتند و موجب افزایش عمر انبارمانی محصول به مدت حداقل ۲۸ روز در دمای ۴۰°C گردید (Hodgins et al. 2016). در تحقیقات دیگر نیز اثر تشدیدکشندگی کاربرد نایسین به همراه فرآوری فشار هیدوراستاتیک بالا در مهار باکتری‌های گرم مثبت مانند *میکروکوکوس لوتئوس*[2] در بافرفسفات، *سالمونلا تیفی موریوم*[3] در آب پرتغال و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در آبجو به اثبات رسیده است (Liang et al., 2002).

باکتریوسین‌ها به همراه نفوذ دهنده‌هایی مانند سیستم لاکتوپراکسیداز و اتیل دی آمین تترااستیک اسید[4]

باکتری‌های گرم منفی به دلیل داشتن غشاء لیپوساکاریدی به صورت خارجی‌ترین پوشش سلولی، در برابر ورود عوامل خارجی مقاومت نموده و به این ترتیب از دسترس فعالیت‌های تخریبی باکتریوسین‌های نظیر نایسین در امان می‌مانند. به منظور فراهم نمودن شرایط برای ورود باکتریوسین‌ها از نفوذ دهنده‌ها استفاده می‌شود (Economou et al., 2009). نفوذ دهنده‌ها عواملی هستند که بدون باکتری‌کشی، قادر به تخریب غشاء لیپوساکاریدی باکتری‌های گرم منفی می شوند که از جمله آن‌ها می‌توان به سیستم لاکتوپراکسیداز و EDTA اشاره نمود. سیستم لاکتوپراکسیداز یک بازدارنده طبیعی در شیر هست که شامل سه ترکیب آنزیم لاکتوپراکسیداز، تیوسیانات و پراکسیداز می‌باشد که از طریق اکسایش گروه تیول آنزیم‌ها، غشای سلولی ارگانیسم‌های حساس را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Economou et al., 2009). در تحقیقات مشابه نشان داده شده‌است که افزودن سیستم لاکتوپراکسیداز به نیسن موجب تشدید فعالیت نایسین در مهار *لیستریا مونوسیتوژنز* و سالمونلا گردیده است (Zapico et al., 1998).

اتیل دی آمین تترااستیک اسید یک نفوذ دهنده فعال دیگر می‌باشد که از طریق کمپلکس نمودن کاتیون‌های دو ظرفیتی یون منیزیوم که عامل اتصالی مواد تشکیل

۱ Electroporation

2 *Micrococcus luteus*
3 *Salmonella typhimurium*
۴ EDTA

دهنده باردار نظیر پروتئین و لیپوساکارید در پوشش خارجی هستند، موجب آزاد سازی لیپوساکارید و دیگر مواد تشکیل دهنده غشاء شده و در نهایت منجر به اختلال در عبور و مرور ماکروملکول‌ها در غشاء خارجی باکتری‌های گرم منفی می‌شود. استفاده از اتیل دی آمین تترااستیک اسید موجب افزایش کارایی نایسین در مهار باکتری گرم منفی *سودوموناس فلورسنس* گردیده است (Delves-Broughton et al., 1993). همچنین استفاده از تیمار ترکیبی نایسین و اتیل دی آمین تترااستیک اسید در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده موجب مهار باکتری‌های مزوفیل نظیر *سودوموناس* و *بروکوتریکس ترموسفاکتا* و باکتری‌های خانواده انتروباکتریاسه گردید (Economou et al., 2009; Naas et al., 2013).

نتیجه گیری کلی

امروزه بسیاری از باکتریوسین‌ها با منشاء باکتری‌های اسید لاکتیک شناسایی شده‌اند و در مواردی استفاده از آثار سودمند و تاثیر گذار آنان بر مهار و کنترل پاتوژن-ها در مواد غذایی به اثبات رسیده است. بنابراین به نظر می‌رسد به منظور استفاده از باکتریوسین‌ها به عنوان ماده نگهدارنده رایج در مواد غذایی علاوه بر بررسی-های دقیق و شناخت محدودیت‌های ذاتی باکتریوسین-ها نظیر عدم قدرت مهار باکتری‌های گرم منفی و مخمرها، عدم کارایی برخی باکتریوسین‌ها در محدوده pH خنثی و قلیایی، شناخت و آگاهی از میان‌کنش‌های احتمالی باکتریوسین‌ها با سایر اجزاء مواد غذایی مانند چربی، پروتئین، آنزیم‌های مواد غذایی، مفید واقع خواهد شد. به منظور افزایش کارایی و کاهش محدودیت‌های باکتریوسین‌ها استفاده ترکیبی باکتریوسین‌ها به همراه سایر فرآیندهای تکمیلی نظیر فشار هیدوراستاتیک بالا، میدان‌های الکتریکی پالسی، بسته‌بندی فعال، تیمارهای حرارتی ملایم و نفوذ دهنده‌هایی مانند سیستم لاکتوپراکسیداز و اتیل دی آمین تترااستیک اسید در تحقیقات متعدد مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به نظر می‌رسد که نتایج تحقیقات انجام شده نوید بخش استفاده از این‌گونه نگهدارنده‌های طبیعی و ایمن به همراه سایر فرآیندهای تکمیلی در مواد غذایی در آینده‌ای نه چندان دور باشد. علاوه موارد مذکور، استفاده از مهندسی ژنتیک برای آنالیز ژنتیکی باکتریوسین‌ها و تولید نژادهای نوترکیب گامی موثر و کارامد در جهت افزایش کارایی باکتریوسین‌ها می‌باشد.

منابع

1- Al-Nehlawi, A., Guri, S., Guamis, B., Saldo, J. 2014. Synergistic effect of carbon dioxide atmospheres and high hydrostatic pressure to reduce spoilage bacteria on poultry sausages. LWT - Food Sci Technol. 58 (2): 404-411.

2- Alpa, H., Kalchayanand, N., Bozoglu, F., Ray, B. 2000. Interactions of high hydrostatic pressure, pressurization temperature and pH on death and injury of pressure-resistant and pressure-sensitive strains of Foodborn Pathogens. Int J Food Microbiol. 60: 33-42.

3- Aymerich, M., and Garrigna, J. 2008. Application of entrocins as biopreservatives against *Listeria Innocua* in meat product. J food protect. 63: 721-726.

4- Black, E. P., Kelly, A. L., Fitzgerald, G. F. 2005. The combined effect of high pressure and nisin on inactivation of microorganisms in milk. Innov Food Sci Emerg Tech. 6: 286-292.

5- Boziaris, I. S., and Adams, M. R. 2001. Temperature shock, injury and transient sensitivity to nisin in Gram negatives. J. Appl. Microbiol. 91: 715-724.

6- Chen, H., and Hoover, D. G. 2003. Bacteriocins and their food applications. Comp. Rev. Food Sci. Food Safety. 2: 82-100.

7- Cotter, P. D., and Hill, C., Ross, R. P. 2005. Bacteriocins: developing innate

immunity for food. Nature Rev. Microbiol. 3: 777-788.
8- De Martinis, E., Públio, M., Santarosa, P., Freitas, F. 2001. Antilisterial activity of lactic acid bacteria isolated from vacuum-packaged Brazilian meat and meat products. Braz. J. Microbiol. 32: 32-37.
9- Delves-Broughton, J. 1993. The use of EDTA to enhance the efficacy of nisin towards Gram-negative bacteria. Int. Biodeter. Biodegr. 32 (1-3): 87-97.
10- Economou, T., Pournis, N., Ntzimani, A., Savvaidis, I. N. 2009. Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life. Food Chem. 114 (4):1470-1476.
11- Ennahar, S., Sashihara, T., Sonomoto, K., Ishizaki, A. 2000. Class IIa bacteriocins: biosynthesis, structure and activity. FEMS Microbiol Rev. 24: 85-106.
12- Galvez, A., Lopez, R., Abriouel, H., Valdivia, E., Omar, N. 2008. Application of Bacteriocins in the Control of Food borne Pathogenic and Spoilage Bacteria. Crit. Rev. Biotechnol. 28: 125-152.
13- Garriga, M., Aymerich, M. T., Costa, S., Monfort, J. M., Hugas, M. 2002. Bactericidal synergism through bacteriocins and high pressure in a meat model system during storage. Food Microb19: 509-518.
14- Goyeneche, R., María, V., Di Scala, K. 2014. Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. Postharvest Biol Tech. 93: 106-113.
15- Guder, A., Wiedemann, I., Sahl, H. G. 2000. Post-translationally modified bacteriocins-the lantibiotics. Biopolymers. 55: 62-73.
16- Hasheminya, S. M., and Dehghannya, J. 2013. Spray dryers: Applications, performance, essential parts and classifications. Int. J. Farm. Allied Sci. 2 (19): 756-759.
17- Hasheminya, S.-M., and Dehghannya, J. 2019. Bacteriocins: Natural preservatives and food safety promoters (In Persian), 3rd International and 26th National Iranian Food Science and Technology Congress, Sept. 17-19, 2019, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran: Article Code: cong26-00150007.
18- Hasheminya, S. M., Rezaei Mokarram, R., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, H., Samadi Kafil, H., Dehghannya, J. 2019a. Development and characterization of biocomposite films made from kefiran,carboxymethyl cellulose and *Satureja Khuzestanica* essential oil. Food Chem. 289: 443-452.
19- Hasheminya, S. M., Rezaei Mokarram, R., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, H., Samadi Kafil, H., Dehghannya, J. 2019b. Influence of simultaneous application of copper oxide nanoparticles and *Satureja Khuzestanica* essential oil on properties of kefiran–carboxymethyl cellulose films. 2019. Polymer. Test. 73. 377-388.
20- Hasheminya, S. M., Rezaei Mokarram, R., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, H., Samadi Kafil, H. 2018. Physicochemical, mechanical, optical, microstructural and antimicrobial properties of novel kefiran-carboxymethyl cellulose biocomposite films as influenced by copper oxide nanoparticles (CuONPs). Food Packaging Shelf. 17: 196-204.
21- Hodgins, A. M., Mittal, G. S., Griffiths, M. W. 2016. Pasteurization of Fresh Orange Juice Using Low-Energy Pulsed Electrical Field. J Food Sci. 67: (6), 2294-2299.
22- Jay, J., Loessner, M. j., Golden, D. A. 2005. Modern Food Microbiology. 7rd ed. Springer.
23- Kalchayanand, N., Sikes, T., Dunne, C. P., Ray, B. 1994. Hydrostatic pressure and electroporation efficiency in combination with bacteriocins. Appl Environ Microbiol. 60: 4174-7.
24- Kramer, N. E. 2004. Resistance of Gram-positive bacteria to nisin is not determined by lipid II levels. FEMS Microbiol. Lett. 239: 157-161.
25- Kumar, J. K. 2008. Lysostaphin a antistaphylococcal agent. Appl Microbiol Biotechnol. 80: 555-561.

26- Liang, Z., Mittal, G. S., Griffiths, M. W. 2002. Inactivation of *Salmonella Typhimurium* in orange juice containing antimicrobial agents by pulsed electric field. J Food Protect. 65: 1081–1087.

27- Lopez, T. J., Roig, A. X., Capellaas, M., Trujillo, A. J., Hernandez, M., Guamis, B. 2003. Inactivation of Spores of Bacillus cereus in Cheese by High Hydrostatic Pressure with the Addition of Nisin or Lysozyme. J Dairy Sci. 86: 3075-3081.

28- McNamee, C., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G., Morgan, D. J., Scannell, A. G. 2010. PEF based hurdle strategy to control *Pichia fermentans*, *Listeria innocua* and *Escherichia coli* k12 in orange juice, Int J Food Microbiol. 138 (1–2): 13-18.

29- Naas, H., Martinez-Dawson, R., Han, I., Dawson, P. 2013. Effect of combining nisin with modified atmosphere packaging on inhibition of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat turkey bologna. Poult Sci. 92(7):1930-5.

30- Pol, I. E., Mastwijk, H. C., Bartels, P. V., Smid, E. J. 2000. Pulsed-electric field treatment enhances the bactericidal action of nisin against *Bacillus cereus*. Appl. environ. Microbial. 66: 428- 430.

31- Saldana G, Monfort S, Condón S, Raso J, Álvarez I. 2012. Effect of temperature, pH and presence of Nisin on inactivation of *Salmonella* Typhimurium and *Escherichia coli* O157:H7 by Pulsed-electric field. Food Res Int. 45(2): 1080-1086.

32- Cannel, A. G. M, and Marx, S. 2000. Development of bioactive food packaging materials using immobilized bacteriocins lacticin 3147 and Nisaplin. Int J Food Microb. 601(2-3): 241-249.

33- Touch, V., Hayakawa, S., Commins, T. 2009. Natural antimicrobial proteins: a review of current challenges and solutions for food applications. Asian J. Food Agro-Industry. 2 (1): 1-16.

34- Wang, J., Wang, K., Wang, Y., Lin, S., Zhao, p., Jones, G. 2014. A novel application of Pulsed-electric field (PEF) processing for improving glutathione (GSH) antioxidant activity. Food Chem. 161: 361-366.

35- Zaerzadeh, E., Mortazavi, S. A., Jafari, M. R., Afsharnejad, S., Tabatabaii, F., Nassiri Mahallati, M. 2011. Antibacterial Effect of Nano-Encapsulated Nisin in Liposoms In Contrast to Free Nisin in Control of Listeria monocytogenes in Iranian Feta Cheese (UF). Iran. Food Sci. Technol. Res. J. 7 (3): 191-199. (in Persian).

36- Zapico, P., Medina, M., Gaya, P., Nuñez, M. 1998. Synergistic effect of nisin and the lactoperoxidase system on *Listeria monocytogenes* in skim milk. Int J Food Microbiol. 40 (1-2): 35-42.

A review of the structure, mechanism, and application of bacteriocins in foods as natural preservatives

Hasheminya SM[1], Dehghannya J[2]*

1. Postdoctoral Researcher, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

***Corresponding author:** *J_dehghannya@tabrizu.ac.ir*

Received: 20 December 2019 Accepted: 18 March 2020

Abstract

In recent years, the incidence of foodborne illnesses has caused considerable concern among the population. Despite advanced mechanisms in health and inspection during food production, microorganisms are potential hazards during food processing, packaging, transportation, storage, and distribution. To reduce the economic loss and life-threatening diseases, and also diminish the adverse effects of chemical preservatives on foods and the increased resistance of microorganisms to antibiotics, the application of natural antimicrobial compounds that have detrimental and inhibitory effects on the pathogenic agents has been considered by researchers. Bacteriocins produced by lactic acid bacteria such as nisin, lacticin 3147, pediocin PA-1, pediocin AcH, and enterocin A and B are natural antimicrobial additives. Researchers face limitations when using bacteriocins such as inappropriate distribution in the food matrix, lack of inhibition in gram-negative bacteria and yeast, inefficiency in the neutral and alkaline pH range, and inactivation at high temperatures. To address these problems, processed bacteriocins such as microencapsulated nisin are used instead of free nisin. Also, bacteriocins are applied in combination with other processes such as active packaging, high hydrostatic pressures, pulsed electric fields, gentle heat treatments, and lactoperoxidase system. In this study, first, the bacteriocins in terms of their structure and mechanism of action are reviewed and then the use of bacteriocins in foods as natural preservatives is discussed.

Keywords: Food safety, Bacteriocin, Hurdle technology, Natural preservative.