

آماده انتشار

خطر وجود آمین های بیوژن و اتیل کاربامات ها در ترکیبات غذاها و نوشیدنی های تخمیری

الهام احمدی^۱، زهرا کاویانی^۲، محمد یار حسینی^{۳*}

- ۱- دکتری علوم و صنایع غذایی، مدرس گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی بهداشت مواد غذایی، گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۳- دانشیار گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم و فناوری های بین رشته ای، دانشگاه بناب، بناب، ایران

*مسئول مکاتبه: m.hosseini@ubonab.ac.ir

ElhamAhmadi¹, Zahra Kavyani, Mohammadyar Hosseini^{3*}

- 1.ph.D in Food Science and Technology, Professor Department of Health and Food Industry, Faculty of Paraveterinary Medicine, Ilam University, Ilam, Iran
2.Zahra Kavyani, Undergraduate Student of Food Safety, Department of Hygiene and Food Industries, Faculty of Paramedical Sciences, University of Ilam, Ilam, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Interdisciplinary Science and Technology, University of Bonab, Bonab, Iran

چکیده

محصولات تخمیری، به ویژه به دلیل حاوی پروبیوتیک ها، به افزایش سلامت دستگاه گوارش با تقویت سیستم ایمنی بدن و افزایش جذب مواد مغذی و کاهش التهاب کمک می کنند، زیرا باکتری های مفید را در روده افزایش می دهند. علاوه بر این، طعم منحصر به فرد و تند آنها به غذاها تنوع و جذابیت بیشتری می بخشد. آمین های بیوژن و اتیل کاربامات از جمله ترکیبات شیمیایی هستند که به طور طبیعی در فرآورده های تخمیر مواد غذایی و نوشیدنی ها تشکیل می شوند. آمین های بیوژن، مانند هیستامین، تیرامین، پوترسین و کاداورین، متابولیت های حاصل از فعالیت میکروارگانیسم ها بر روی اسیدهای آمینه هستند. این ترکیبات در مقادیر پایین به طور طبیعی در بدن تجزیه می شوند، اما در غلظت های بالا می توانند اثرات نامطلوبی بر سلامت مصرف کننده ایجاد کنند. عوارض گزارش شده شامل سردرد، مشکلات گوارشی، افزایش فشارخون، و در برخی موارد واکنش های آلرژیک است. به دلیل طبیعت متنوع این فرآورده های تخمیری، عواملی نظیر دما، زمان، و نوع میکروارگانیسم ها نیز بر تشکیل این ترکیبات تأثیر می گذارند. به عنوان مثال، باکتری های اسید لاکتیک و مخمرها می توانند در ایجاد غلظت های متفاوت از آمین های بیوژن و اتیل کاربامات نقش داشته باشند. در همین حال، نوع ماده اولیه نیز می تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید این ترکیبات داشته باشد. اتیل کاربامات (EC) که از واکنش بین اتانول و ترکیبات کربامیل در شرایط تخمیر یا ذخیره سازی ایجاد می شود، به علت خصوصیات سرطان زایی بالقوه خود به عنوان یک عامل خطر مهم برای انسان شناخته شده است. تشکیل این ترکیبات به عوامل متعددی نظیر نوع ماده اولیه، نوع

میکروارگانیزم‌های تخمیری (مانند باکتری‌های اسید لاکتیک یا مخمرها)، شرایط محیطی مانند دما و pH و زمان بستگی دارد. غذاها و نوشیدنی‌های تخمیری - از جمله شراب، آبجو، پنیر، فرآورده‌های گوشتی تخمیری و سس سویا - بیشترین میزان این ترکیبات را ایجاد می‌کنند و وجود آنها در این محصولات نگرانی‌های عمده‌ای در زمینه ایمنی غذایی و سلامت عمومی ایجاد کرده است. هیستامین و تیرامین به‌عنوان رایج‌ترین آمین‌های بیوژن، بیشترین خطر را برای گروه‌های حساس مانند بیماران مبتلا به اختلالات متابولیکی، فشارخون بالا یا اختلالات کبدی دارند. اتیل کاربامات نیز به‌دلیل شناسایی به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا توسط نهادهای بهداشتی نظیر IARC (آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان)، یکی از مهم‌ترین چالش‌های نظارتی در صنایع غذایی است. در نتیجه این نگرانی‌ها، تلاش‌های جهانی برای شناسایی، کنترل و کاهش این ترکیبات در طول فرآیند تولید مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به‌کار گرفته شده است. این تلاش‌ها شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای پایش سطح این ترکیبات، بهینه‌سازی فرآیندهای تخمیر، استفاده از سویه‌های میکروبی با تولید کم‌تر آمین‌های بیوژن، و اعمال تکنیک‌های تصفیه پس از تخمیر است. علاوه بر این، تدوین استانداردهای نظارتی برای محدود کردن سطوح مجاز آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات در محصولات غذایی نقش مهمی در کاهش خطرات بهداشتی دارد. این مقاله مروری به بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات، روش‌های شناسایی و پایش، و خطرات مربوط به این ترکیبات در غذاها و نوشیدنی‌های تخمیری می‌پردازد. همچنین، پیشرفت‌های اخیر در توسعه فناوری‌های جدید و مداخلات پیشگیرانه مورد ارزیابی قرار گرفته و چالش‌ها و فرصت‌های تحقیقاتی برای بهبود سلامت عمومی و تضمین ایمنی غذایی در آینده ارائه شده است.

کلمات کلیدی: تخمیر، آمین‌های بیوژن، اتیل کاربامات، ایمنی غذایی، سلامت عمومی

مقدمه

محصولات تخمیری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات مصرفی در فرهنگ‌های غذایی مختلف شناخته می‌شوند. این محصولات که شامل انواع ماست، پنیر، نان تخمیری، و نوشیدنی‌هایی مانند کموچا و آب‌جو هستند، به واسطه فرایند تخمیر، تغییرات میکروبی را تجربه می‌کنند که بر طعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای آنها تأثیر می‌گذارد. تخمیر، به‌عنوان یک فرایند بیوشیمیایی، باعث تبدیل قند به الکل یا اسید می‌شود که نقش مهمی در حفظ و افزایش ماندگاری این محصولات دارد. همچنین مصرف محصولات تخمیری می‌تواند به بهبود سلامت روده و تقویت سیستم ایمنی کمک کند (۱). از دیدگاه بهداشتی، محصولات تخمیری به دلیل وجود میکروارگانیزم‌های مفید، به‌خصوص باکتری‌های پروبیوتیک، به‌عنوان یک منبع غنی از مواد مغذی شناخته می‌شوند. این باکتری‌ها نه تنها به بهبود گوارش کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن نیز مؤثر باشند. با این حال، وابستگی به فرایند تخمیر و شرایط تولید این محصولات می‌تواند خطر وجود ترکیبات مضر مانند آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات‌ها را نیز به همراه داشته باشد، که باید در تولید و مصرف این محصولات مورد توجه قرار گیرد (۲). آمین‌های بیوژن، ترکیبات آلی نیتروژن‌دار هستند که معمولاً از اسیدهای آمینه در طی فرایندهای متابولیکی تولید می‌شوند. این ترکیبات به‌طور طبیعی در بسیاری از غذاها وجود دارند و به‌خصوص در غذاهای تخمیری و پروتئینی تولید می‌شوند. آمین‌های بیوژن به علت

ویژگی‌های شیمیایی خاص خود، ممکن است در غلظت‌های بالا موجب بروز مشکلات بهداشتی، مانند مسمومیت و واکنش‌های آلرژیک شوند. از جمله مهم‌ترین آمین‌های بیوژن می‌توان به هیستامین، تریپتامین و اتیل آمین اشاره کرد که در غذاهای مختلفی مانند پنیر، محصولات گوشتی و برخی از نوشیدنی‌های تخمیری یافت می‌شوند (۳). مطالعات نشان می‌دهند که سطح این آمین‌ها به عوامل مختلفی نظیر شرایط ذخیره‌سازی، پخت و پز، و نوع میکروارگانیسم‌های موجود در فرایند تخمیر وابسته است. به علاوه، وجود آمین‌های بیوژن در مواد غذایی می‌تواند نشانه‌ای از فرآیندهای فساد غذایی باشد و منجر به کاهش کیفیت و ایمنی غذا شود. بنابراین، شناسایی و کنترل سطح آمین‌های بیوژن در صنایع غذایی برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان و افزایش کیفیت محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است (۴). اتیل کاربامات، که همچنین به عنوان اوره اتیلی نیز شناخته می‌شود، یک ترکیب شیمیایی با فرمول مولکولی C_2H_5NHCOO است. این ترکیب عمدتاً در تولید برخی مواد شیمیایی صنعتی و همچنین در فرآیندهای تخمیری و تولید مشروبات الکلی یافت می‌شود. اتیل کاربامات به خصوص در محصولات تخمیری مانند آب‌جو و چندین نوع نوشیدنی الکلی دیگر به وجود می‌آید و به عنوان یک محصول جانبی در فرایند تخمیر کربوهیدرات‌ها به وجود می‌آید. خطرات بهداشتی مرتبط با اتیل کاربامات به‌ویژه زمانی برجسته می‌شود که این ترکیب در دوزهای بالا قرار گیرد، چرا که برخی مطالعه‌ها آن را به عنوان یک ماده سرطان‌زا برای انسان‌ها معرفی کرده‌اند (۵). مطالعات نشان می‌دهند که وجود اتیل کاربامات در مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به شرایط خاص تولید، ذخیره‌سازی و فرآیندهای تخمیر وابسته است. این ترکیب می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل نوع میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در تخمیر، دما، و زمان نگهداری تولید شود. بنابراین، شناسایی و کاهش سطح اتیل کاربامات در محصولات غذایی و نوشیدنی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا از خطرات بهداشتی و تأثیرات منفی آن بر سلامت عمومی جلوگیری شود (۶). بررسی خطرات اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن در غذاها و نوشیدنی‌های تخمیری از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این ترکیبات می‌توانند به شدت بر سلامت انسان تأثیر بگذارند. اتیل کاربامات به عنوان یک ماده سرطان‌زا شناخته شده است و وجود آن در نوشیدنی‌های الکلی و دیگر محصولات غذایی باید به‌طور جدی کنترل شود. همچنین، آمین‌های بیوژن می‌توانند باعث بروز مشکلات گوارشی و آلرژیک شوند که به ویژه در افرادی که به این ترکیبات حساسیت دارند، می‌تواند خطرناک باشد. از آنجا که فرایند تخمیر به‌طور طبیعی به تولید این ترکیبات کمک می‌کند، نظارت بر سطوح آن‌ها در محصولات غذایی و نوشیدنی‌ها می‌تواند از نظر ایمنی و سلامت عمومی ضروری باشد (۷). علاوه بر این، افزایش و تنوع مصرف محصولات تخمیری در جوامع مختلف، تأکید بر ضرورت پژوهش‌های بیشتر در این زمینه را تقویت می‌کند. با توجه به روند جهانی افزایش مصرف این نوع محصولات، وجود ترکیبات خطرناک مانند اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن ممکن است به یک مسأله بهداشتی عمومی تبدیل شود. شناخت دقیق‌تری از عوامل مؤثر در تولید این ترکیبات و چگونگی کاهش آن‌ها می‌تواند به تولیدکنندگان در ایجاد محصولات ایمن‌تر و مصرف‌کنندگان در انتخاب‌های غذایی سالم‌تر کمک کند. بنابراین، انجام تحقیقات جامع در این زمینه، از بروز مشکلات بهداشتی و اقتصادی جلوگیری کرده و به ارتقاء کیفیت و ایمنی غذاهای تخمیری کمک می‌کند (۴). هدف این مقاله مروری بررسی خطرات ناشی از وجود آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات‌ها در ترکیبات غذاها و نوشیدنی‌های تخمیری است. این مقاله به تحلیل منابع و شرایط تولید این ترکیبات مضر پرداخته و تأثیرات بالقوه آن‌ها بر سلامت انسان را مورد بررسی قرار می‌دهد.

محصولات تخمیری

تخمیر یک فرآیند متابولیکی مهم است که در آن میکروارگانیسم‌ها، از جمله باکتری‌ها و مخمرها، در شرایط بی‌هوازی (بدون اکسیژن) مواد قندی را به ترکیبات ساده‌تر تبدیل می‌کنند. این فرآیند غیر از تولید انرژی، موجب تغییرات شیمیایی و فیزیکی در مواد غذایی می‌شود و تأثیرات زیادی بر طعم، بافت و ماندگاری آن‌ها دارد. تخمیر یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است و ریشه‌های تاریخی عمیقی دارد. به عنوان مثال، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد انسان‌ها از تخمیر برای تولید غذاهای مختلف به بیش از ۷۰۰۰ سال پیش استفاده می‌کردند، که این موضوع نشان‌دهنده اهمیت فرهنگی و اقتصادی آن در جوامع انسانی است (۸). تخمیر به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود:

تخمیر الکلی: این نوع تخمیر معمولاً توسط میکروارگانیسم‌هایی چون مخمرها انجام می‌شود، به ویژه *Saccharomyces cerevisiae* در این فرآیند، قندها (مانند گلوکز) به الکل (اتانول) و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. تخمیر الکلی اساس تولید مشروبات الکلی از جمله شراب، آبجو و سایر نوشیدنی‌های مخمر دار است. همچنین، در نان‌پزی، دی‌اکسید کربن تولید شده در اثر تخمیر، به پف کردن خمیر کمک می‌کند. این فرآیند به عنوان مثال در تولید نان‌هایی که به طور طبیعی بر اثر عمل مخمر پف می‌کنند، مهم است (۹). تخمیر الکلی همچنین دارای اهمیت اقتصادی و فرهنگی ویژه‌ای است. این فرآیند به تولید مشروبات الکلی، که در بسیاری از فرهنگ‌ها جزء لاینفک مناسبت‌ها و جشن‌ها هستند، کمک می‌کند. علاوه بر این، تخمیر الکلی می‌تواند به عنوان یک میان‌بر در تولید سوخت‌های زیستی نیز مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از قندهای گیاهی به عنوان منبع اولیه برای تولید اتانول، نه تنها می‌تواند به تأمین انرژی کمک کند، بلکه به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی نیز منجر می‌شود. این جنبه از تخمیر الکلی توجه ویژه‌ای از سوی محققان و سیاست‌گذاران در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر به خود جلب کرده است (۱۰).

تخمیر اسیدی: این نوع تخمیر معمولاً توسط باکتری‌ها انجام می‌شود و به تولید اسید لاکتیک منجر می‌شود. باکتری‌هایی مانند *Lactobacillus* و *Streptococcus* مسئول این نوع تخمیر هستند. تخمیر اسیدی در تولید محصولات لبنی مانند ماست، پنیر و کفی، همچنین در فرآیندهای ترشی‌گذاری برای تولید ترشی‌جات و سس‌ها استفاده می‌شود. این نوع تخمیر نه تنها به حفظ و نگهداری مواد غذایی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به طعم و مزه تازه‌ای برای محصولات افزوده و ارزش غذایی آن‌ها را بالا ببرد (۱۱). علاوه بر کاربرد آن در صنایع غذایی، تخمیر اسیدی دارای فواید سلامتی بسیاری نیز می‌باشد. مصرف غذاهای تخمیر شده می‌تواند به بهبود سلامت روده کمک کند، زیرا این محصولات منبع خوبی از پروبیوتیک‌ها هستند که به تعادل فلور میکروبی روده کمک می‌کنند. همچنین، تحقیقات نشان می‌دهد که تخمیر اسیدی می‌تواند اثرات مفیدی در کاهش نشانه‌های برخی بیماری‌ها مانند التهاب و مقاومت به انسولین داشته باشد (۱۲). به همین دلیل، تخمیر اسیدی نه تنها به بهبود طعم و ماندگاری محصولات غذایی کمک می‌کند، بلکه به عنوان یک عامل تقویتی در رژیم غذایی افرادی که به دنبال بهبود وضعیت سلامت خود هستند، مورد توجه قرار گرفته است. تخمیر کاربردهای متنوعی فراتر از صنایع غذایی دارد. در زمینه زیست‌محیطی، میکروارگانیسم‌ها از طریق تخمیر می‌توانند به تولید سوخت‌های زیستی مانند بیوگاز کمک کنند، که این گاز می‌تواند به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد. به علاوه، تخمیر می‌تواند به عنوان راهی برای کاهش پسماندهای کشاورزی نیز عمل کند، زیرا مواد زائد گیاهی می‌توانند به سادگی تخمیر شوند و به منابع انرژی تبدیل شوند (۱۳). همچنین، تخمیر به تولید پروبیوتیک‌ها و ترکیبات مفید دیگری منجر می‌شود که می‌توانند بر سلامت روده و سیستم ایمنی تأثیر مثبت بگذارند. مصرف مواد غذایی تخمیر شده می‌تواند به

بهبود هضم، کاهش عفونت‌های روده‌ای و حتی کاهش خطر برخی بیماری‌ها کمک کند (۱۲). تحقیقات نشان می‌دهد که انواع مختلف تخمیر می‌توانند بر تنوع و غنای میکروبیوم روده تأثیر بگذارند، که به نوبه خود بر روی سلامت کلی فرد تأثیر دارد. در جدول ۱ به برخی از محصولات تخمیری در گروه‌های مختلف غذایی اشاره شده است.

جدول ۱_ برخی محصولات تخمیری در گروه‌های غذایی مختلف

Table 1_ Some fermented products in different food groups

مرجع Reference	محصول Product	گروه غذایی Food group
12_14_15	ماست: محصول تخمیر شده است که با استفاده از اسیدهای لاکتیک مانند لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و /استرپتوکوک ترموفیلوس تولید می‌شود. ماست منبع خوبی از پروبیوتیک‌ها و مواد مغذی است و به بهبود سلامت روده کمک می‌کند.	محصولات لبنی
	پنیر: تخمیر شیر توسط باکتری‌ها و آنزیم‌ها منجر به تولید پنیر می‌شود. انواع مختلف پنیر مانند چدار، گودا و ماسکارپونه بسته به نوع باکتری و روش تخمیر تولید می‌شود.	Dairy products
	کفی: یک نوشیدنی شیر تخمیر شده که توسط باکتری‌ها و مخمرها تولید می‌شود. کفی به ویژه در کشورهای قفقاز و اروپای شرقی رایج است و خواص پروبیوتیک بالایی دارد.	
16_17	ترشی: فرآیند تخمیر سبزیجاتی مانند خیار و کلم توسط باکتری‌های اسید لاکتیک باعث تولید ترشی می‌شود. این محصولات نه تنها طعم منحصر به فردی دارند، بلکه به دلیل خاصیت نگهدارندگی اسید لاکتیک، ماندگاری طولانی دارند.	میوه و سبزیجات
	کلم تخمیر شده (گوشت ترش): این نوع تخمیر شامل تخمیر کلم با استفاده از باکتری‌های لئفوسیستی است. این ماده معمولاً به عنوان یک محصول جانبی در رژیم غذایی اروپای شرقی شناخته می‌شود و ارزش غذایی بالایی دارد.	Vegetables and fruits
	سیب زمینی تخمیر شده: در برخی از فرهنگ‌ها، سیب زمینی را با تخمیر تهیه می‌کنند و می‌توان آن را به عنوان غذای جانبی یا اصلی سرو کرد.	
18_19_20	نان تخمیر شده: نان‌هایی که با استفاده از مخمرها به ویژه ساکارومایسس سرویزیه تخمیر شده‌اند. این فرآیند منجر به تولید دی‌اکسید کربن و الکل می‌شود و باعث پف کردن نان می‌شود.	غلات Cereal
	آبجو: یک نوشیدنی الکلی که از تخمیر غلات (معمولاً جو مالت دار) توسط مخمرها تولید می‌شود. این فرآیند نه تنها الکل و گاز CO ₂ را تولید می‌کند، بلکه طعم‌های مختلفی را نیز تولید می‌کند.	
	شراب: تخمیر انگور و سایر میوه‌ها توسط مخمرها منجر به تولید شراب می‌شود. این فرآیند به دلیل تنوع در نوع میوه و مخمر مصرفی منجر به تولید طعم‌ها و عطرهای مختلف می‌شود.	
21_22	سوسیس تخمیر شده: انواع سوسیس مانند چوریزو و سالامی که از تخمیر و خشک کردن گوشت و ادویه تهیه می‌شود. این سوسیس‌ها به دلیل وجود باکتری‌های تخمیر طعم و عطر خاصی دارند و می‌توانند به عنوان یک منبع طبیعی پروتئین به شمار آیند.	محصولات گوشتی

ماهی تخمیر شده: ماهی تخمیر شده در برخی فرهنگ ها رایج است، مانند ری در ایسلند یا قلعه آبی در یونان. این فرآیند می تواند منجر به ماندگاری طولانی تر و طعم خاصی شود.	Meat products
---	---------------

میکروبیوت‌ها در فرآورده‌های تخمیری نقش اساسی دارند و شامل انواع باکتری‌ها، مخمرها و کپک‌ها هستند که با تولید متابولیت‌ها و آنزیم‌ها، طعم، بافت و ماندگاری محصولات غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عنوان مثال، باکتری‌های اسید لاکتیک مانند *Lactobacillus bulgaricus* و *Streptococcus thermophiles* در تولید ماست و لبنیات نقش دارند و به تخمیر لاکتوز به اسید لاکتیک، بهبود طعم و قوام محصول کمک می‌کنند (۱۴). همچنین، مخمر *Saccharomyces cerevisiae* در تولید نان و نوشیدنی‌های الکلی مانند آبجو و شراب مؤثر است و قندها را به الکل و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌کند که باعث پف کردن و ایجاد طعم خاص می‌شود (۹). شناسایی و درک میکروبیوت‌های مختلف و کاربردهای آنها نه تنها به توسعه روش‌های بهینه تخمیر کمک می‌کند، بلکه برای بهبود کیفیت و ایمنی محصولات غذایی نیز حیاتی است. به عنوان مثال، *Aspergillus oryzae* در تولید سس سویا و مشروبات تخمیری به کار می‌رود و به هیدرولیز نشاسته و تولید طعم و عطر کمک می‌کند (۲۳). توجه به میکروبیوت‌های مضر نیز مهم است، زیرا عدم کنترل صحیح آنها می‌تواند منجر به تولید ترکیبات سمی و کاهش کیفیت محصولات شود، بنابراین تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به پیشرفت صنعت غذایی و ارائه محصولات جدید با ارزش غذایی بالا منجر شود (۲۴). در جدول ۲ به برخی از میکروبیوت‌های مهم اشاره شده است.

جدول ۲ - استفاده از میکروبیوتا در محصولات تخمیری

Table 2 - Use of microbiota in fermented products

میکروبیوت Microbiota	نوع Type	توضیحات Application	رفرنس Reference
لاکتوباسیلوس بولگاریکوس <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	باکتری	از باکتری‌های / اسید لاکتیک در تولید ماست استفاده می‌شود. این باکتری لاکتوز را به اسید لاکتیک تخمیر می‌کند و طعم ترش را در ماست ایجاد می‌کند.	14
استرپتوکوکوس ترموفیلوس <i>Streptococcus thermophilus</i>	باکتری	باکتری اسید لاکتیک در تولید ماست به همراه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس استفاده می‌شود. این میکروارگانیسم به بهبود بافت و طعم ماست کمک می‌کند.	12
ساکارومایسس سرئیزه <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	مخمر	مخمر ماده اصلی در تولید نان و مشروبات الکلی مانند آبجو و شراب است. این مخمر قندها را به الکل و CO ₂ تبدیل می‌کند که به نان و نوشیدنی‌ها عطر و طعم می‌دهد.	19
باسیلوس سوبتیلیس <i>Bacillus subtilis</i>	باکتری	در تولید سس سویا (تخمیر سویا) و در برخی از فرآورده‌های تخمیر با فواید سلامتی استفاده می‌شود <i>Bacillus subtilis</i> . به عنوان یک پروبیوتیک شناخته می‌شود.	25

23	در تولید سس سویا و نوشیدنی های الکلی تخمیر شده مانند میسو ژاپنی استفاده می شود. این میکروارگانیسم به هیدرولیز نشاسته و ایجاد طعم و عطر در محصولات کمک می کند.	کپک	آسپرژیلوس اوریزه <i>Aspergillus oryzae</i>
24	می توان از آن در تولید پروبیوتیک ها و برخی محصولات تخمیری مانند چاشنی گوشت استفاده کرد و به تولید اسید بوتیریک کمک می کند.	باکتری	کلستریدیوم بوتیریکوم <i>Clostridium butyricum</i>
26	معمولاً در تخمیر گوشت و ماهی به ویژه در تولید سوسیس و کالباس و سایر محصولات گوشتی تخمیر شده استفاده می شود. این میکروارگانیسم می تواند به حفظ و طعم کمک کند.	باکتری	لاکتوباسیلوس ساکی <i>Lactobacillus sakei</i>
27	از آن در تولید ترشیجات و سایر محصولات تخمیری مانند سوسیس و کالباس استفاده می شود. این میکروارگانیسم به تولید طعم و قوام مناسب کمک می کند.	باکتری	پدیوکوکوس اسید لاکتیسی <i>Pediococcus acidilactici</i>
16	در تولید پنیر و ماست استفاده می شود. لاکتوکوکوس لاکتیس پروبیوتیک های مفیدی برای سلامت روده تولید می کند و در حفظ طعم و بافت لبنیات موثر است.	باکتری	لاکتوکوکوس لاکتیس <i>Lactococcus lactis</i>
28	برای طعم دادن به نان هایی با خمیر مایه مانند نان خمیر ترش استفاده می شود. این میکروارگانیسم به غنی شدن طعم نان کمک می کند.	مخمر	کاندیدا <i>Candida milleri</i>

میکروبیوت های مرتبط با تخمیر نقشی حیاتی در تولید غذاها و نوشیدنی های متنوع دارند. شناخت میکروبیوت های مختلف و کاربردهای آنها نه تنها به بهبود کیفیت و ایمنی محصولات کمک می کند، بلکه به توسعه و نوآوری های جدید در صنعت غذایی نیز منجر می شود. تحقیقات بیشتر در این زمینه می تواند به شناسایی و بهبود فرآیندهای تخمیر منجر شود و فرصتی برای ارائه محصولات جدید با ارزش غذایی بالا فراهم آورد. ترکیبات نامطلوب در محصولات تخمیری را می توان به موادی که در طی فرایند تخمیر به وجود می آیند یا به شکل ناخواسته تولید می شوند، نسبت داد. این ترکیبات ممکن است شامل ترکیبات سمی، مانند آمین های موجود در برخی از غذاهای تخمیر شده، یا ترکیباتی که باعث طعم و بوی نامطلوب می شوند، باشند. به عنوان مثال، در تخمیر برخی از مواد غذایی، میکروارگانیسم ها می توانند به تولید ترکیباتی مانند اسیدهای چرب آزاد یا فنیل آمین ها منجر شوند که تأثیر منفی بر کیفیت حسی و ایمنی محصول دارند (۱۰). همچنین، عدم کنترل مناسب دما و رطوبت در فرایند تخمیر می تواند منجر به رشد باکتری های ناخواسته و تولید مواد مضر گردد، که می تواند روی سلامت مصرف کنندگان تأثیر منفی بگذارد. توجه به ترکیبات نامطلوب در محصولات تخمیری اهمیت زیادی دارد زیرا این عناصر می توانند تأثیر مستقیم بر ایمنی غذایی و کیفیت محصول داشته باشند. شناسایی و کنترل این ترکیبات نه تنها به حفظ سلامت مصرف کنندگان کمک می کند بلکه به افزایش اعتماد و رضایت آنها از محصولات تخمیری نیز کمک می کند. همچنین، توجه به ترکیبات نامطلوب می تواند به بهبود فرایند تولید و در نهایت کیفیت و طعم نهایی محصول منجر شود. از این رو، تحقیق و توسعه در زمینه شناخت و مدیریت ترکیبات نامطلوب

در فرآیندهای تخمیری برای بهبود طرح و کیفیت محصولات غذایی بسیار حیاتی است (۲۴). نظارت دقیق بر فرایندهای تخمیر و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته می‌تواند به کاهش تولید این ترکیبات نامطلوب و حصول اطمینان از ایمنی و کیفیت محصولات تخمیری کمک کند.

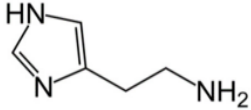
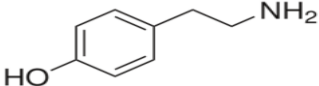
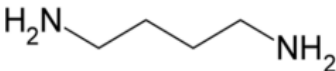
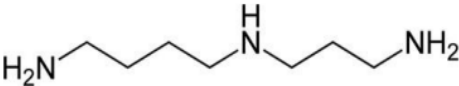
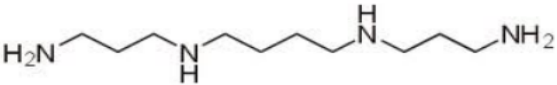
آمین‌های بیوژن

آمین‌های بیوژن ترکیباتی هستند که به‌طور طبیعی در بدن تولید می‌شوند و نقش‌های مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی دارند. یکی از روش‌های تولید این آمین‌ها، فرآیند تخمیر است. در این فرآیند، میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها و مخمرها از مواد آلی تغذیه کرده و آمین‌های بیوژن مختلفی را سنتز می‌کنند. این آمین‌ها می‌توانند بر سلامت انسان تأثیر بگذارند و در فرآورده‌های غذایی تخمیری وجود دارند و تأثیر بسزایی در کیفیت محصول غذایی می‌گذارند (۲۹). تخمیر می‌تواند به تولید انواع مختلف آمین‌های بیوژن منجر شود، که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تیرامین، سپرولامین و هیستامین اشاره کرد. تیرامین یکی از آمین‌های بیوژن است که عمدتاً در نتیجه تخمیر پروتئین‌ها از طریق فعالیت میکروبی به‌وجود می‌آید. این ترکیب در غذاهای تخمیری مانند پنیر و سوسیس‌ها یافت می‌شود و در برخی افراد می‌تواند باعث سردرد یا واکنش‌های آلرژیک شود (۳۰). سپرولامین، یکی دیگر از آمین‌های تولیدشده از فرآیند تخمیر است که به‌خاطر تأثیرات مثبت آن بر سیستم عصبی مرکزی شناخته شده است. این ترکیب می‌تواند در بهبود خلق و خو و تقویت حافظه نقش داشته باشد. سپرولامین معمولاً در برخی از محصولات تخمیری نظیر ماست‌های پروبیوتیکی وجود دارد (۳۱). هیستامین نیز از دیگر آمین‌های بیوژن است که حاصل فعالیت میکروبی در فرآیند تخمیر است. این ترکیب به‌ویژه در غذاهای تخمیری مانند کلم ترش و ماهی تخمیر شده دیده می‌شود و می‌تواند در برخی افراد باعث واکنش‌های آلرژیک و سایر مشکلات گوارشی شود. هیستامین یک نقش مهم در سیستم ایمنی و کنترل التهاب دارد (۳۲). علاوه بر آمین‌های ذکر شده، سایر آمین‌های بیوژن شامل پتیدهای مختلف نیز ممکن است در طول فرآیند تخمیر تولید شوند. این پتیدها می‌توانند در حفظ سلامت روده و تقویت سیستم ایمنی نقش داشته باشند. بسیاری از این پتیدها دارای خواص ضد میکروبی و ضد التهابی هستند که به دلیل تخمیر عباراتی مانند ماست و کیمچی به وجود می‌آیند (۳۳). در نهایت، درک فرآیندهای تولید آمین‌های بیوژن در طول تخمیر می‌تواند به بهبود کیفیت محصولات غذایی و نیز تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان کمک کند. با توجه به تنوع میکروفلور در فرآیندهای تخمیر، انواع مختلف آمین‌های بیوژن می‌توانند اثرات مثبت یا منفی بر روی سلامتی داشته باشند و این امر نیاز به توجه ویژه در طراحی و تولید فرآورده‌های تخمیری دارد. در جدول ۳ به برخی از این آمین‌ها اشاره شده است (۳۴).

جدول ۳- رایج ترین آمین های بیوژنیک محصولات تخمیری

Table 3- The most common biogenic amines of fermented products

ساختمان Structure	فرمول شیمیایی Chemical formula	آمین های بیوژن Biogenic amine

	هتروسیلیک	هیستامین Histamine
	آروماتیک	تیرامین Tyramine
	آلیفاتیک	پوترسین Putrescine
	آلیفاتیک	کاداورین Cadaverine
	آلیفاتیک	آسپرمدین Spermidine
	آلیفاتیک	آسپرین Spermine

روش های تشکیل

آمین های بیوژن، ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در بدن ایجاد می شوند و به عنوان واسطه های شیمیایی در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی نقش دارند. این ترکیبات می توانند از طریق روش های مختلفی تشکیل شوند که شامل تجزیه پروتئین ها، تخمیر، ترانسفورمیشن های میکروبی و همچنین با استفاده از بیوسنتز در گیاهان و موجودات زنده هستند.

تجزیه پروتئین ها (Proteolysis)

تجزیه پروتئین ها به عنوان یک فرآیند بیوشیمیایی کلیدی در تولید آمین های بیوژن، نقش مهمی در صنایع غذایی و میکروبیولوژی دارد. آنزیم های پروتئاز که عمدتاً توسط میکروارگانیسم های مختلف تولید می شوند، به شکستن پیوندهای پپتیدی در پروتئین ها

کمک می‌کنند و آنها را به آمینواسیدهای ساده‌تر تبدیل می‌نمایند. این آمینواسیدها می‌توانند تحت شرایط خاص به آمین‌های بیوژن تبدیل شوند. در این راستا، برخی از میکروارگانیسم‌های موجود در فرآورده‌های تخمیری، به ویژه باکتری‌های لاکتیک اسید، به آنزیم‌های پروتئاز و دیگر آنزیم‌ها تولید می‌کنند که در تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه تولید ترکیبات مختلف مؤثر هستند. در فرآورده‌های غذایی تخمیری نظیر پنیر و سوسیس، این فرآیند به شدت تأثیرگذار است. پروتئین‌های دامی یا گیاهی که در این محصولات وجود دارند، با فعالیت میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند و منجر به تولید آمین‌های بیوژن مانند تیرامین، فنیل‌اتیل‌آمین و ایندول می‌گردند. تیرامین به‌خصوص به‌عنوان یک مواد شیمیایی بیوژنیک شناخته می‌شود که می‌تواند بر روی خلق و خو و رفتار افراد تأثیر بگذارد، فنیل‌اتیل‌آمین نیز به عنوان یک پیام‌رسان عصبی معرفی شده و در تنظیم حالات روحی و هیجانات انسانی نقش دارد و ایندول به عنوان یک متابولیت ناشی از تجزیه پروتئین‌ها، به ویژه از تریپتوفان، در میکروبیوم روده تولید می‌شود. این ترکیب نه تنها در فرآورده‌های بیوشیمیایی و سیگنال‌دهی سلولی نقش دارد، بلکه به عنوان یک نشانگر زیستی می‌تواند در ارزیابی سلامت روده و اختلالات متابولیکی مورد استفاده قرار گیرد. این عوامل، به‌خصوص در غذاهای تخمیری، می‌توانند بر طعم و عطر نهایی تأثیر قابل توجهی بگذارند و تنوعی در فرآورده‌های بیوشیمیایی ایجاد کنند. میزان و نوع آمین‌های بیوژن تولید شده به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله نوع و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، دما، زمان تخمیر و ترکیب پروتئینی مواد اولیه. به‌عنوان مثال، در پنیرهای تخمیری، شرایط تخمیر و روش‌های مختلف تولید می‌توانند منجر به تولید مقادیر متفاوتی از آمین‌های بیوژن شوند. این موضوع نه تنها بر کیفیت نهایی محصول تأثیر دارد، بلکه به سلامتی مصرف‌کنندگان نیز مرتبط است؛ زیرا مقادیر بالا از برخی آمین‌های بیوژن ممکن است در افرادی که دارای نقص در سیستم گوارشی، حساسیت به ماده غذایی، یا اختلالات مرتبط با متابولیسم آمین‌ها هستند، حساسیت ایجاد کنند. در نتیجه، درک دقیق از این فرآیند و کنترل عوامل مؤثر بر آن می‌تواند به بهبود کیفیت و ایمنی محصولات غذایی کمک کند (۳۵).

در همین راستا Royalty و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی نقش آمین‌های بیوژن در غذاهای تخمیری می‌پردازد، که شامل ترکیباتی مانند تیرامین، فنیل‌اتیل‌آمین، ایندول و اسیدهای آمینه دیگر است. فرآیند تخمیر باعث تجزیه پروتئین‌ها به آمینو اسیدها می‌شود و سپس این آمینواسیدها می‌توانند به آمین‌های بیوژن تبدیل شوند. فعالیت میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های پروتئاز در محیط‌های تخمیری، به ویژه در فرآورده‌هایی مانند پنیر، سوسیس و ترشیجات، بر تولید این آمین‌ها تأثیرگذار است. همچنین، مقاله به اثرات فیزیولوژیکی و ایمنی این ترکیبات در انسان می‌پردازد و اشاره دارد که با کنترل شرایط تخمیر می‌توان مقدار آمین‌های بیوژن را به حد مطلوبی کاهش داد. در نهایت، یافته‌های این تحقیق به تولید غذاهای تخمیری سالم‌تر و باکیفیت‌تر کمک می‌کند (۳۶).

تخمیر میکروبی (Microbial Fermentation)

تخمیر میکروبی نقش مهمی در تولید آمین‌های بیوژن در غذاهای تخمیری دارد. در این فرآیند، باکتری‌ها و مخمرها نه تنها کربوهیدرات‌ها بلکه پروتئین‌ها را نیز تخمیر می‌کنند. این میکروارگانیسم‌ها با استفاده از آنزیم‌های خاص خود، پروتئین‌ها را به آمینواسیدها تجزیه کرده و سپس این آمینواسیدها به آمین‌های بیوژن تبدیل می‌شوند. از جمله آمین‌های بیوژن تولیدشده در طی این فرآیند می‌توان به هیستامین و سپرولامین اشاره کرد. این ترکیبات نقش‌های متعددی در فیزیولوژی انسان ایفا می‌کنند و

می‌توانند در غلظت‌های بالا به بروز واکنش‌های آلرژیک و مشکلات سلامتی منجر شوند. به‌عنوان مثال، در تولید غذاهای تخمیری مانند کلم ترش و پنیر، میکروارگانیسم‌ها به طور طبیعی مقدار قابل توجهی هیستامین تولید می‌کنند. این تولید، به ویژه در شرایط خاص تخمیر و با استفاده از باکتری‌های لاکتیک اسید، افزایش می‌یابد. هیستامین به عنوان یک ترکیب بیوژنیک در این فرآیند شناخته شده است و می‌تواند تأثیرات فیزیولوژیکی زیادی بر بدن انسان داشته باشد. در واقع، افزایش میزان هیستامین در غذاهای تخمیری می‌تواند ناشی از فعالیت میکروبی و شرایط تخمیر باشد که به این تولید کمک می‌کند. از طرف دیگر، کیفیت و ایمنی غذاهای تخمیری می‌تواند تحت تأثیر غلظت‌های بالا از این آمین‌های بیوژن قرار گیرد. به همین دلیل در صنایع غذایی، کنترل و مدیریت شرایط تخمیر اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به اینکه زندگی انسان‌ها به مصرف غذاهای تخمیری مرتبط است و این غذاها به خاطر طعم و عطر خاص خود بسیار محبوب‌اند، بهینه‌سازی فرآیند تخمیر با هدف تولید مقادیر بهینه آمین‌های بیوژن برای حفظ کیفیت و ایمنی این محصولات امری ضروری است (۳۶-۳۷).

Rahman و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تولید و اثرات آمین‌های بیوژن در غذاهای تخمیری پرداخت. آمین‌های بیوژن از تجزیه پروتئین‌ها به وسیله آنزیم‌های میکروبی تولید می‌شوند و از مهم‌ترین ترکیبات موجود در غذاهای تخمیری مانند پنیر، سوسیس، و ترشیجات به شمار می‌آیند. از جمله آمین‌های رایج تولیدشده در این فرایند می‌توان به هیستامین، تیرامین و فنیل‌اتیل‌آمین اشاره کرد که هر یک اثرات فیزیولوژیکی مخصوص به خود را دارند. در این تحقیق به عوامل مؤثر بر تولید آمین‌های بیوژن، از جمله نوع میکروارگانیسم‌های مورد استفاده، شرایط تخمیر و زمان آن، می‌پردازد و به بررسی تأثیر غلظت‌های بالای این آمین‌ها بر سلامت انسان و کیفیت غذا نیز می‌پردازد. در نهایت، به عنوان نتیجه‌گیری، اهمیت کنترل و مدیریت شرایط تخمیر به منظور تولید غذاهای ایمن و باکیفیت‌تر مورد تأکید قرار می‌گیرد (۳۸).

بیوسنتز در گیاهان و موجودات زنده (Biosynthesis in Plants and Organisms)

یکی از جنبه‌های مهم بیوسنتز در گیاهان و دیگر موجودات زنده، تولید آمین‌های بیوژنیک به‌وسیله فرایند ترانس‌آمیناسیون است. این فرآیند شامل انتقال گروه آمین از یک آمین به یک کربوکسیلیک اسید است که معمولاً به تولید آمین‌های جدیدی منجر می‌شود. در گیاهان، این آمین‌ها می‌توانند به عنوان هورمون‌ها، متابولیت‌های ثانویه و یا پیغام‌برهای سیگنالی عمل کنند که به گیاه کمک می‌کند تا در برابر تنش‌های محیطی و شرایط مختلف بهتر واکنش نشان دهد. به‌علاوه، در موجودات زنده‌ای که از میکروارگانیسم‌ها تغذیه می‌کنند، آمین‌های بیوژنیک می‌توانند به‌عنوان مواد مغذی و یا ترکیبات محافظتی عمل کنند. فنتون و اوکانل (۲۰۱۶) در یک بررسی به اهمیت شناخت دقیق‌تر فرآیند بیوسنتز و تأثیر آمین‌های بیوژنیک بر سلامت انسان و رابطه آن‌ها با تغذیه و بهداشت به‌ویژه در غذاهای تخمیری تأکید می‌کنند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که درک بهتر این فرآیندها می‌تواند به توسعه روش‌های جدید در کشاورزی و صنایع غذایی، از جمله بهبود کیفیت غذایی و افزایش ارزش تغذیه‌ای محصولات کشاورزی منجر شود (۳۹).

انتقال گروه آمین (Amine Transfer)

انتقال گروه آمین (Amine Transfer) یک فرایند بیوشیمیایی حیاتی است که در آن گروه آمین از یک آمینوآسید به یک مولکول دیگر منتقل می‌شود. این فرایند به‌ویژه در واکنش‌های کاتالیز شده توسط آنزیم‌های ترانس‌آمیناز صورت می‌گیرد که نقش بسیار مهمی در متابولیسم اسیدهای آمینه دارند. ترانس‌آمینازها با انتقال گروه‌های آمینی از آمینوآسیدها به کربوکسیلیک اسیدها، امکان تولید ترکیبات جدید و متنوع را فراهم می‌کنند. این واکنش می‌تواند به سادگی راهی برای تنظیم سطوح آمین‌های بیوژنیک در سلول‌ها باشد و به تعدادی از فرایندهای متابولیکی کمک کند. به‌عنوان مثال، دوپامین و سروتونین، دو نوع آمین بیوژنیک مهم که به تنظیم خلق‌وخو، خواب و فرایندهای عصبی کمک می‌کنند، به‌واسطه انتقال گروه آمین تولید می‌شوند. این مولکول‌ها به‌واسطه ترانس‌آمینازها که آثاری مشابه در متابولیسم اسیدهای آمینه دارند، از پیش‌سازهای مختلفی سنتز می‌شوند. با دسترسی به این آنزیم‌ها و زمینه‌ای که آن‌ها فراهم می‌کنند، موجودات زنده می‌توانند به آسانی ترکیبات کلیدی را برای حفظ سلامت و عملکرد مطلوب تولید کنند. نقش انتقال گروه آمین در پزشکی و علم تغذیه نیز حائز اهمیت است. بسیاری از اختلالات روانی و بیماری‌های متابولیکی می‌توانند به عدم تعادل در سطوح این آمین‌های بیوژنیک مربوط شوند. بنابراین، درک عمیق‌تر از مکانیزم‌های انتقال گروه آمین می‌تواند به توسعه درمان‌های جدید و استراتژی‌های تغذیه‌ای منجر شود که به‌طور مستقیم بر بهبود سلامت روان و عملکرد متابولیکی تأثیر بگذارد. این تحقیقات به ما کمک می‌کند تا درک بهتری از چگونگی تداخل متابولیسم اسیدهای آمینه و ارتباط آن با فرایندهای کیفی در موجودات زنده پیدا کنیم و کمک می‌کند علم جدیدی از بیوشیمی در این زمینه شکل گیرد (۴۰).

(Ravel, & Vassal 2021) به بررسی نقش ترانس‌آمیناسیون و آمین‌های بیوژنیک در سیستم‌های میکروبی و گیاهی می‌پردازد. انتقال گروه آمین از آمینوآسیدها به کربوکسیلیک اسیدها، فرایند حیاتی است که توسط آنزیم‌های ترانس‌آمیناز انجام می‌شود و به تولید ترکیبات مهمی مانند دوپامین، سروتونین و هیستامین منجر می‌گردد. این آمین‌ها در تنظیم بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی، از جمله متابولیسم و پاسخ‌های بیولوژیکی در موجودات زنده، نقش دارند. به‌خصوص در گیاهان، این فرایند به سازگاری با تنش‌های محیطی کمک می‌کند و می‌تواند به‌عنوان منبعی برای تولید مواد مغذی و عملکردهای زیستی عمل کند. مقاله بر اهمیت درک مکانیزم‌های بیوسنتزی و انتقال گروه آمین در توسعه استراتژی‌های بهداشتی و غذایی تأکید می‌کند (۴۱).

فعالیت میکروبی در روده

میکروبیوم روده، که شامل میلیاردها میکروارگانیسم مختلف است، نقش بسیار مهمی در تولید آمین‌های بیوژنیک ایفا می‌کند. این میکروبیوم به‌ویژه باکتری‌های مفید، قادر به تخریب پروتئین‌ها و مواد مغذی هستند و در فرایندهایی مانند تخمیر و تجزیه مواد غذایی فعال هستند. باکتری‌ها از پروتئین‌های موجود در غذا به عنوان منبع انرژی استفاده کرده و در طی این فرایند آمین‌های بیوژنیک مانند دوپامین، سروتونین و هیستامین تولید می‌کنند. این آمین‌ها به‌عنوان پیام‌رسان‌های شیمیایی مهم در سیستم عصبی و متابولیسم عمل می‌کنند و تأثیرات متعددی بر عملکردهای فیزیولوژیکی بدن دارند. عوامل مختلفی می‌توانند بر تنوع و ساختار میکروبیوم روده تأثیر بگذارند، از جمله نوع رژیم غذایی، ژنتیک فرد و فاکتورهای محیطی. رژیم غذایی به‌طور خاص تأثیر زیادی بر تنوع و فعالیت باکتری‌های روده دارد. برای مثال، رژیم‌های غنی از پروتئین یا فیبر می‌توانند منجر به تغییرات در ترکیب

میکروبیوم و افزایش تولید آمین‌های بیوژنیک شوند. با توجه به این تغییرات، افراد با رژیم‌های غذایی متفاوت ممکن است سطوح متفاوتی از آمین‌های بیوژنیک را در روده‌های خود تجربه کنند که می‌تواند به اثرات بالقوه بر سلامت عمومی و متابولیسم بدن منجر شود. تنوع در تولید آمین‌های بیوژنیک که وابسته به میکروبیوم روده و دیگر متغیرهای محیطی است، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سلامت فرد و کارکرد سیستم ایمنی داشته باشد. به عنوان مثال، برخی از آمین‌های بیوژنیک می‌توانند به عنوان تعدیل‌کننده‌های سیستم ایمنی عمل کنند و بر التهابات و پاسخ‌های دفاعی بدن تأثیر بگذارند. از این رو، درک بهتر از تأثیر میکروبیوم روده بر تولید آمین‌های بیوژنیک می‌تواند به توسعه استراتژی‌های جدیدی برای پیشگیری و درمان بیماری‌ها منجر شود و اطلاعات بیشتری درباره ارتباط بین تغذیه، میکروبیوم و سلامت فردی ارائه دهد (۴۲). میکروبیوم روده تأثیر عمیقی بر فرآیندهای متابولیکی از جمله تولید آمین‌های بیوژنیک دارد، که این ترکیبات به دلیل نقش‌هایشان در فیزیولوژی بدن و سلامت عمومی اهمیت بالایی دارند. در مطالعه (Bäumler & Sperandio, 2016) به بررسی ارتباط بین میکروبیوم روده، رژیم غذایی و تولید آمین‌های بیوژنیک پرداخته شد است. تحقیقات نشان داده‌اند که باکتری‌های روده می‌توانند پروتئین‌ها و دیگر مواد مغذی را تخریب کرده و آمین‌های بیوژنیکی مانند دوپامین، سروتونین و تریپتامین تولید کنند. این تولیدات به طور مستقیم تحت تأثیر ترکیب میکروبیوم، الگوهای تغذیه و شرایط محیطی قرار دارند. همچنین، تعدادی از مطالعه‌ها به نقش آنتی‌اکسیدانی و تعدیل سیستم ایمنی این آمین‌ها اشاره کرده‌اند. در نتیجه، درک بهتر از تعاملات بین تغذیه، میکروبیوم و تولید آمین‌های بیوژنیک می‌تواند به پیشرفت‌های مهم در حوزه‌های پزشکی و تغذیه انسانی منجر شود (۴۳).

فرآیند اکسیداسیون (Oxidative Processes)

برخی از آمین‌های بیوژنیک از طریق فرآیندهای اکسیداسیون تولید می‌شوند که در آن آمین‌ها به واسطه تغییرات اکسیداتیو و واکنش‌های شیمیایی خاص سنتز می‌شوند. این نوع تولید معمولاً هنگامی رخ می‌دهد که شرایط محیطی خاص باعث بروز تنش‌های اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شود. تنش اکسیداتیو معمولاً به افزایش غلظت گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر می‌شود، که این شرایط می‌تواند بر فعالیت آنزیم‌ها و مسیرهای متابولیکی تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، در پاسخ به استرس‌های محیطی مانند کمبود اکسیژن یا آلودگی، ممکن است سلول‌ها تلاش کنند تا با تولید آمین‌های بیوژنیک به عنوان عوامل محافظتی یا تعدیل‌کننده‌های سیگنالی به این تنش‌ها پاسخ دهند. در فرآیندهای اکسیداسیون، ترانسفورماسیون آمین‌ها معمولاً از طریق آنزیم‌های اکسیداز مانند مونوآمین اکسیداز (MAO) رخ می‌دهد. این آنزیم‌ها می‌توانند آمین‌های قدیمی را تغییر داده و آن‌ها را به شکل جدیدی از آمین‌ها تبدیل کنند. به دلیل توانایی این آنزیم‌ها در اکسیداسیون آمین‌ها، بسیاری از آمین‌های بیوژنیک در سیستم‌های عصبی و متابولیکی به عنوان نتیجه‌ای از این واکنش‌های اکسیداتیو تولید می‌شوند. این فراگرد به ویژه در هنگام بروز التهاب و تنش‌های سلولی معنای خاصی پیدا می‌کند، زیرا آمین‌های تولیدشده ممکن است نقش‌های مهمی در تعدیل پاسخ‌های ایمنی و التهاب ایفا کنند. نتیجه‌گیری از این فرآیندها نشان می‌دهد که تولید آمین‌های بیوژنیک از طریق اکسیداسیون می‌تواند به عنوان یک مکانیزم مهم برای پاسخ به حالت‌های استرس‌زا و تنظیم فیزیولوژیکی در موجودات زنده عمل کند. با توجه به ارتباطات بین تنش‌های اکسیداتیو و تولید این ترکیبات، تحقیقات بیشتری در این زمینه می‌تواند اطلاعات بیشتری دربارهٔ تأثیر آمین‌های بیوژنیک بر سلامتی و روندهای بیماری‌زایی و همچنین درمان‌های بالقوه مبتنی بر این فرایندها ارائه دهد. به خصوص،

درک عمیق‌تر از واکنش‌های اکسیداتیو و نقش آن‌ها در تولید آمین‌های بیوژنیک می‌تواند به توسعه رویکردهای جدیدی برای مدیریت بیماری‌های مرتبط با استرس‌های اکسیداتیو کمک کند (۴۴).

بر اساس گزارش Pérez, & Rivas (2021) آمین‌های بیوژنیک، به‌عنوان فراورده‌های متابولیکی ناشی از تجزیه آمینو اسیدها، در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی در انسان نقش دارند. در این مقاله، تولید آمین‌های بیوژنیک از طریق چندین مسیر، از جمله فرآیندهای اکسیداتیو مورد بحث قرار می‌گیرد. تنش‌های اکسیداتیو می‌توانند منجر به تغییرات در سطح آمین‌های بیوژنیک شوند، که این وضعیت می‌تواند بر متابولیسم و سیگنالینگ در بدن تأثیر بگذارد. مشخص شده است که این آمین‌ها در تنظیم وضعیت‌های فیزیولوژیک و پاتولوژیک، از جمله بیماری‌های عصبی و اختلالات متابولیکی، نقش دارند. به‌علاوه، مقاله نکاتی را در مورد اهمیت رژیم غذایی، عملکرد میکروبیوم روده و استرس‌های اکسیداتیو در تولید متعادل آمین‌های بیوژنیک و پیامدهای آن‌ها برای سلامت انسان ارائه می‌دهد (۴۵). در نهایت، آمین‌های بیوژن به واسطه مکانیزم‌ها و فرآیندهای متعددی در طبیعت تولید می‌شوند. درک این فرآیندها به‌خصوص در زمینه غذا و تغذیه، به ما کمک می‌کند تا تأثیرات آن‌ها را بر روی سلامت و بیماری‌ها بهتر بشناسیم.

روش‌های شناسایی

کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)

کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) یکی از تکنیک‌های پیشرفته در شیمی تجزیه است که به طور گسترده‌ای برای شناسایی و کمی‌سازی ترکیبات مختلف در نمونه‌ها استفاده می‌شود. این روش به ویژه در تجزیه و تحلیل مواد بیوشیمیایی مانند آمین‌های بیوژنی اهمیت دارد. آمین‌های بیوژنی، که شامل گروهی از ترکیبات نیتروژن‌دار هستند، نقشی کلیدی در فرآیندهای زیستی ایفا می‌کنند و تغییرات در غلظت آن‌ها می‌تواند به اختلالات متابولیکی و بیماری‌ها اشاره کند. HPLC به دلیل دقت، سرعت و قابلیت تحلیل هم‌زمان چندین نمونه، ابزاری ارزشمند برای شناسایی و کمی‌سازی آمین‌های بیوژنی محسوب می‌شود. در HPLC، نمونه‌ها تحت فشار از طریق یک ستون پر شده با فاز استراحت عبور داده می‌شوند، که منجر به جداسازی ترکیبات مختلف بر اساس ویژگی‌هایشان می‌شود. روش‌های مختلف HPLC، از جمله HPLC مایع معکوس، معمولاً برای تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژنی به کار می‌روند. در این روش، فاز سیال معمولاً شامل حلال‌های آبی و ارگانیک است که قابلیت جداسازی و شناسایی دقیق آمین‌ها را فراهم می‌کند. با استفاده از تجهیزات پیشرفته و تکنیک‌های شناسایی مانند طیف‌سنجی جرمی (MS) و طیف‌سنجی UV، HPLC امکان شناسایی آمین‌های بیوژنی را با دقت بالا فراهم می‌سازد. تحقیقات نشان داده‌اند که HPLC می‌تواند به راحتی آمین‌های بیوژنی مختلف را در نمونه‌های زیستی مانند خون و ادرار شناسایی کند. به عنوان مثال، در مطالعات مربوط به اختلالات نوروسایکاتری و تحلیل سطح آمین‌های بیوژنی نظیر سروتونین و دوپامین، HPLC به‌عنوان یک روش استاندارد مطرح است. این تکنیک در مطالعات داروشناسی و سم‌شناسی نیز کاربرد فراوانی دارد و می‌تواند به درک بهتری از تعاملات بیوشیمیایی کمک کند. به طور کلی، HPLC ابزاری حیاتی در تحقیق و توسعه داروها و بررسی آثار دارویی در مقیاس‌های مختلف به حساب می‌آید (۴۶-۴۷). در پژوهش Taleghani و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی روش‌های HPLC، از جمله HPLC مایع معکوس و HPLC با فاز جامد، می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهند که HPLC قادر به جداسازی و شناسایی آمین‌های بیوژنی در انواع نمونه‌های

بیولوژیکی از جمله خون و ادرار است. این تکنیک نه تنها دقت و حساسیت بالایی در شناسایی این ترکیبات دارد، بلکه امکان تحلیل هم‌زمان چندین نمونه را نیز فراهم می‌آورد. به علاوه، این روش در مطالعات مربوط به اختلالات روانی و متابولیکی، به ویژه در کنترل کیفیت غذاهای حاوی آمین‌های بیوژنی، کاربردهای مهمی دارد (۴۷).

کروماتوگرافی گازی (GC)

کروماتوگرافی گازی (GC) یکی از تکنیک‌های مهم و مؤثر در تشخیص و شناسایی ترکیبات آلی، به ویژه آمین‌های بیوژن است. این روش بر پایه تفکیک اجزا بر اساس تعامل آن‌ها با فاز متحرک (گاز) و فاز ثابت (مایع یا جامد) کار می‌کند. در مورد آمین‌های بیوژن، که نقش ویژه‌ای در متابولیسم و فرایندهای بیوشیمیایی دارند، استفاده از GC به دلیل حساسیت بالا و توانایی شناسایی تغییرات جزئی در غلظت آن‌ها به شدت توصیه می‌شود. بر اساس مطالعات، GC می‌تواند قادر به شناسایی و اندازه‌گیری مقدار آمین‌های مختلف مانند تائورین، هیستیدین و تریپتوفان باشد (۴۸). در کروماتوگرافی گازی، نمونه‌ها معمولاً به صورت بخار وارد سیستم می‌شوند و از طریق ستون کروماتوگرافی جداسازی می‌شوند. تکنیک‌های ترکیبی مانند GC-MS (کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی) به ویژه کمکی برای افزایش دقت و قابلیت شناسایی ترکیبات پیچیده‌اند. با استفاده از GC-MS، نه تنها می‌توان ترکیبات مختلف را شناسایی کرد، بلکه می‌توان اطلاعات دقیقی درباره ساختار و ترکیب شیمیایی آن‌ها به دست آورد. این امر به طور خاص برای آمین‌های بیوژن که ممکن است در غلظت‌های پایین وجود داشته باشند، به شدت حائز اهمیت است (۴۹). یک چالش رایج در استفاده از کروماتوگرافی گازی برای شناسایی آمین‌های بیوژن، نیاز به تبدیل آمین‌ها به فرم مناسب برای تجزیه و تحلیل است. این می‌تواند شامل مراحل پیش آماده‌سازی مانند تاخیر یا مشتق‌سازی باشد که برای تحلیل دقیق و بهبود حساسیت ضروری است. در مجموع، کروماتوگرافی گازی به عنوان یک روش قوی و معتبر در تشخیص آمین‌های بیوژن شناخته می‌شود و توانایی آن در فراهم کردن تجزیه و تحلیل با دقت بالا در دنیای علمی و پزشکی در حال افزایش است (۵۰).

یکی از مقالات معتبر در زمینه استفاده از کروماتوگرافی گازی برای شناسایی آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط López-Caballero, & López-Hernández (2020) به بررسی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژن در مواد غذایی پرداخته است. در این مقاله، محققان با استفاده از کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) به شناسایی و اندازه‌گیری آمین‌های بیوژن در نمونه‌های غذایی مختلف از جمله پنیر، ماهی و گوشت پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده این بودند که این تکنیک توانایی بالایی در تشخیص و تفکیک آمین‌ها به ویژه در غلظت‌های پایین دارد و می‌تواند اطلاعات دقیقی درباره نوع و مقدار آمین‌های موجود ارائه دهد. همچنین، این مطالعه به چالش‌های پیش روی در تجزیه و تحلیل و لزوم استفاده از روش‌های مشتق‌سازی برای افزایش دقت و حساسیت تأکید می‌کند. این مطالعه به وضوح نشان می‌دهد که کروماتوگرافی گازی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای شناسایی آمین‌های بیوژن در مواد غذایی به کار رود و به پژوهشگران کمک کند تا کیفیت و ایمنی غذایی را ارزیابی کنند (۵۱).

طیف‌سنجی جرمی (MS)

طیف‌سنجی جرمی (MS) یکی از تکنیک‌های پیشرفته و معتبر در علم تجزیه و تحلیل ترکیبات شیمیایی به‌خصوص آمین‌های بیوژن است. این روش به‌طور خاص برای شناسایی و اندازه‌گیری مقادیر کمی آمین‌ها در نمونه‌های بیولوژیکی و غذایی استفاده می‌شود. با تجزیه و تحلیل یون‌های تولید شده از ترکیبات مختلف، MS قادر است اطلاعات دقیقی درباره ساختار شیمیایی و جرم مولکولی این ترکیبات ارائه کند. این قابلیت تجزیه و تحلیل ساختاری، MS را به ابزاری کارآمد در مطالعاتی که به شناسایی آمین‌های بیوژن شامل تریپتوفان، تیروزین و فنیل آلانین می‌پردازند، تبدیل کرده است (۵۲). علاوه بر این، ترکیب MS با روش‌های دیگر مانند کروماتوگرافی مایع (LC-MS) توانایی شناسایی آمین‌های بیوژن را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد. LC-MS به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که آمین‌ها را در مراحل مختلف تحلیل کرده و از جداسازی صحیح آن‌ها قبل از تجزیه و تحلیل جرمی بهره‌برداری کنند. این تکنیک به ویژه در شناسایی مقادیر کم آمین‌ها که در بسیاری از زمینه‌ها نظیر علم تغذیه و پزشکی اهمیت زیادی دارند، بسیار مفید است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که LC-MS می‌تواند به طور کارآمد آمین‌های بیوژن را از نمونه‌های پیچیده مانند بافت‌های بیولوژیکی و مواد غذایی شناسایی کند (۵۳). با این حال، برخی چالش‌های مرتبط با استفاده از طیف‌سنجی جرمی برای شناسایی آمین‌های بیوژن وجود دارد. از جمله این چالش‌ها می‌توان به نیاز به آماده‌سازی و مشتق‌سازی نمونه‌ها اشاره کرد که به منظور افزایش دقت و حساسیت در اندازه‌گیری‌ها ضروری است. همچنین، این نیاز ممکن است زمان‌بر باشد و انجام آن نیاز به دقت بالایی دارد. با وجود این چالش‌ها، طیف‌سنجی جرمی به عنوان یک روش قدرتمند در تشخیص آمین‌های بیوژن مرسوم است و می‌تواند در تحقیقات آینده در این زمینه بیشتر مورد استفاده قرار گیرد (۵۴). یکی از مقالات معتبر در زمینه استفاده از طیف‌سنجی جرمی (MS) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط Moreno-Arribas & Polo (2022) به بررسی تکنیک‌های مختلف در شناسایی این ترکیبات در نمونه‌های غذایی پرداخته است. در این مقاله، محققان با استفاده از HPLC-MS/MS (کروماتوگرافی مایع با طیف‌سنجی جرمی) توانستند آمین‌های بیوژن را در گوشت و فرآورده‌های گوشتی شناسایی کنند. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند به طور مؤثری به شناسایی و اندازه‌گیری انواع آمین‌های بیوژن کمک کند و همچنین نشان‌دهنده دقت بالا و حساسیت این تکنیک در تجزیه و تحلیل مواد غذایی به‌خصوص در غلظت‌های پایین است. این مطالعه به دستیابی به استانداردهای ایمنی غذایی و بهینه‌سازی روش‌های نگهداری مواد غذایی کمک کرده و تأکید می‌کند که روش‌های حساس و دقیق مانند HPLC-MS/MS به ویژه برای واکنش‌های شیمیایی در فرآیندهای بیولوژیکی حیاتی هستند (۵۵). این بررسی نشان می‌دهد که طیف‌سنجی جرمی، به‌خصوص در ترکیب با دیگر روش‌های کروماتوگرافی، قادر به شناسایی و تجزیه و تحلیل دقیق و کمی آمین‌های بیوژن در مواد غذایی است و پتانسیل بالایی در ارتقاء سلامت عمومی و ایمنی غذایی دارد.

طیف‌سنجی تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)

طیف‌سنجی تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) یکی از تکنیک‌های قدرتمند در شناسایی و تجزیه و تحلیل ترکیبات بیوشیمیایی به‌ویژه آمین‌های بیوژن است. این روش بر اساس تعامل هسته‌های اتمی با میدان مغناطیسی و تابش فرکانس رادیویی کار می‌کند و اطلاعات دقیقی درباره ساختار و محیط شیمیایی ترکیبات ارائه می‌دهد. به‌وسیله NMR، می‌توان اطلاعاتی دقیق از جمله نوع و تعداد اتم‌های موجود در یک ترکیب و نحوه پیوند آن‌ها ارائه کرد. این قابلیت به ویژه برای شناسایی آمین‌های بیوژن مانند

تریپتوفان و تیرامین که دارای ساختاری پیچیده هستند، حائز اهمیت است (۵۶). علاوه بر این، NMR به دلیل توانایی‌اش در تجزیه و تحلیل ترکیبات در محلول و تعدادی از متغیرهای دیگر، به عنوان یک روش غیر مخرب شناخته می‌شود. این خصوصیت به محققان این امکان را می‌دهد که از این تکنیک برای بررسی تغییرات در محتوای آمین‌های بیوژن در نمونه‌های طبیعی و فرآوری‌شده استفاده کنند. مطالعه‌ای که در این زمینه انجام شد نشان داد که NMR قادر به شناسایی الگوهای مختلف آمین‌ها و تأثیرات آن‌ها بر متابولیسم سلولی است و این امر به پژوهشگران کمک می‌کند تا به درک بهتری از نقش این ترکیبات در بیوشیمیایی دست یابند (۵۷). با این حال، یکی از چالش‌های استفاده از NMR برای شناسایی آمین‌های بیوژن، نیاز به غلظت‌های نسبتاً بالا از نمونه‌ها است. در نتیجه، این technical در مقایسه با تکنیک‌هایی مانند طیف‌سنجی جرمی یا کروماتوگرافی ممکن است محدودیت داشته باشد. با وجود این، پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی NMR، از جمله Scout NMR (یک روش در طیف سنجی) و استفاده از پروب‌های حساس‌تر، توانسته‌اند دقت و کارایی این روش را بهبود ببخشند و پتانسیل آن را برای تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژن در ترکیبات مختلف افزایش دهند (۵۸).

یکی از مقالات مهم و معتبر در زمینه استفاده از طیف‌سنجی تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط Keller & Rüedi (2020) به بررسی کاربرد NMR در شناسایی و کمی‌سازی آمین‌های بیوژن در مواد غذایی پرداخته شده است. در این مقاله، محققان از NMR برای تحلیل آمین‌های بیوژن موجود در الکل‌های مختلف و همچنین غذاهای پروتئینی مانند ماهی و گوشت استفاده کردند. نتایج نشان داد که NMR به‌خوبی قادر به شناسایی گونه‌های مختلف آمین‌ها بوده و همچنین امکان تجزیه و تحلیل و تعیین غلظت دقیق آن‌ها را فراهم می‌آورد. این مطالعه به‌خصوص به بررسی دقت و قابلیت تکرار آزمایشات NMR در مقایسه با روش‌های دیگر مانند کروماتوگرافی مایع و طیف‌سنجی جرمی پرداخته و نتیجه‌گیری کرد که NMR می‌تواند به عنوان یک روش مکمل برای تجزیه و تحلیل آمین‌های بیوژن در برخی از موارد از دقت بالایی برخوردار است. محققان همچنین به چالش‌ها و محدودیت‌های موجود در این روش اشاره کرده و پیشنهاداتی برای بهبود دقت و کارایی NMR در تحلیل آمین‌های بیوژن ارائه کردند (۵۹). این مطالعه نشان می‌دهد که NMR می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در شناسایی و کمی‌سازی آمین‌های بیوژن مورد استفاده قرار گیرد و سلاحي ارزشمند در تحقیقات و ارزیابی کیفیت مواد غذایی و ایمنی به شمار می‌آید.

اثرات بهداشتی و خطرات مرتبط

مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن یکی از مسائلی است که می‌تواند سلامت انسان را تهدید کند. آمین‌های بیوژن مانند تریپتامین، هیستامین و تیرامین به طور طبیعی در برخی از غذاها وجود دارند و در صورت مصرف در مقادیر بالا، می‌توانند باعث بروز واکنش‌های ناخواسته‌ای در بدن شوند. به عنوان مثال، هیستامین معمولاً در ماهی‌های فاسد و غذاهای تخمیری یافت می‌شود و مصرف آن می‌تواند به بروز حالتی به نام "مسمومیت هیستامینی" منجر شود که با نشانه‌هایی مانند سردرد، کهیر، و مشکلات گوارشی همراه است (۶۰). یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن، ارتباط آن با شرایط خاص مانند حملات میگرنی، فشار خون بالا و واکنش‌های آلرژیک است. به طور خاص، تیرامین می‌تواند در افراد مبتلا به میگرن باعث تشدید

علائم شود، به‌ویژه در افرادی که تحت درمان با مهارکننده‌های مونوآمینوآکسیداز (MAOIs) قرار دارند. در این افراد، مصرف غذاهای حاوی تیرامین می‌تواند منجر به افزایش فشار خون و حتی بروز بحران‌های Hypertensive گردد (۶۱).

نکته کلیدی در مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن، توجه به منبع و شرایط نگهداری غذاهاست. غذاهای تازه معمولاً حاوی مقادیر کمتری از این آمین‌ها هستند، در حالی که ذخیره‌سازی نامناسب و فساد می‌تواند منجر به افزایش غلظت آمین‌های بیوژن و در نتیجه خطرات جدی برای سلامتی شود. بنابراین، آگاهی از سطوح امن این ترکیبات و ایجاد استانداردهایی برای مصرف و نگهداری غذاها می‌تواند به کاهش خطر مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن کمک کند (۶۲).

یکی از مقالات مهم در زمینه تأثیرات مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط Careri & Cuccia (2020) به بررسی اثرات بهداشتی هیستامین، به عنوان یکی از آمین‌های بیوژن، بر روی سلامت انسان پرداخته است. در این مقاله، محققان به تبیین چگونگی ایجاد مسمومیت هیستامینی و عوارض ناشی از آن مانند سردرد، تهوع، و علائم گوارشی پرداخته‌اند. این مطالعه به‌ویژه به بررسی منابع غذایی غنی از هیستامین، از جمله ماهی‌های نگهداری‌شده نامناسب و مواد غذایی تخمیری، تمرکز کرده و بر اهمیت توجه به روش‌های نگهداری و مصرف صحیح این غذاها تأکید کرده است (۶۳). نتیجه‌گیری این مطالعه نشان داد که مسمومیت ناشی از هیستامین می‌تواند در افراد دارای حساسیت بیش از حد یا در افرادی که تحت درمان با داروهای خاصی مانند مهارکننده‌های مونوآمینوآکسیداز هستند، شدت یابد. این مقاله همچنین به تحقیقات دیگر که به رابطه بین مصرف هیستامین و بروز مشکلات گوارشی می‌پردازد، اشاره کرده و بر لزوم بررسی بیشتر در این زمینه تأکید دارد. محققان پیشنهاد کردند که بهبود روش‌های نگهداری مواد غذایی و آگاهی عمومی در مورد خطرات ناشی از آمین‌های بیوژن می‌تواند به کاهش موارد مسمومیت کمک کند. این مطالعه به وضوح نشان می‌دهد که شناخت و مدیریت مناسب آمین‌های بیوژن، به‌ویژه هیستامین، می‌تواند تأثیر زیادی بر سلامت عمومی و پیشگیری از مسمومیت‌های غذایی داشته باشد.

آمین‌های بیوژن مانند تریپتامین، تیرامین و هیستامین از جمله ترکیباتی هستند که می‌توانند اثرات عصبی قابل توجهی بر روی سیستم عصبی مرکزی داشته باشند. این ترکیبات طبیعی به‌عنوان نوروترنسمیترها یا مدولاتورهای عصبی عمل کرده و نقش مهمی در تنظیم رفتارها و عملکردهای روانی دارند. با این حال، مصرف بیش از حد یا ناهنجاری‌هایی در متابولیسم آن‌ها می‌تواند منجر به بروز اثرات نامطلوبی از جمله تغییرات خلق و خو، اضطراب و حتی تشنج شود (۶۱). به‌ویژه تیرامین می‌تواند باعث آزادسازی ناهنجار نوراپی‌نفرین شود و نتیجتاً منجر به افزایش فشار خون و اختلالات عصبی گردد. مسمومیت ناشی از آمین‌های بیوژن می‌تواند همچنین راه‌های مختلفی با اختلالات عصبی عیدیه مرتبط باشد. به‌عنوان مثال، مصرف زیاد هیستامین به‌عنوان یک آمین بیوژن در افرادی که حساسیت دارند می‌تواند باعث بروز وضعیت‌هایی نظیر سردردهای میگرنی، سرگیجه و نشانه‌هایی شبیه به آلرژی شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش سطح هیستامین در مغز می‌تواند منجر به مشکلات عصبی و عاطفی شده و بر وضعیت روانی فرد تأثیر منفی بگذارد (۶۰). همچنین، در برخی از بیماران مبتلا به اختلالات روانی، مصرف آمین‌های بیوژن می‌تواند اثرات شدیدی بر روی وضعیت روانی آن‌ها داشته باشد. این تأثیرات ممکن است شامل تشدید علائم بیماری‌های روانی،

از جمله اسکیزوفرنی و اختلالات دو قطبی باشد. بنابراین، فهم دقیق اثرات عصبی آمین‌های بیوژن و مدیریت صحیح مصرف آن‌ها می‌تواند به حفظ سلامت روانی افراد کمک کند (۶۲).

یکی از مقالات مهم در زمینه اثرات عصبی ناشی از آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط Duncan & Kelly (2019) به بررسی نقش هیستامین و تیرامین در ایجاد تغییرات روانی و عصبی پرداخته است. در این تحقیق، محققان به بررسی چگونگی تأثیر هیستامین بر روی سیستم عصبی مرکزی و ارتباط آن با بروز اختلالات خلق و خو و اضطراب پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هیستامین می‌تواند به عنوان یک مدولاتور مهم در عملکرد نورون‌ها عمل کند و در نتیجه تغییرات در سطح آن می‌تواند منجر به بروز اختلالات عصبی شود. محققان همچنین به ارتباط میان مصرف مواد غذایی سرشار از آمین‌های بیوژن و بروز سردردهای میگرنی و مشکلات عصبی دیگر پرداخته و تأکید کردند که مصرف بیش از حد این ترکیبات، به‌ویژه در افرادی که به آن‌ها حساس هستند، می‌تواند خطر بروز علائم عصبی را افزایش دهد. مقاله به بررسی مطالعه‌ای هم در این زمینه پرداخته که در آن نشان داده شده که مصرف تیرامین در افراد مبتلا به میگرن می‌تواند تشدید علائم این بیماری را به همراه داشته باشد. نتیجه‌گیری این مطالعه حاکی از آن است که افزایش آگاهی عمومی درباره خطرات آمین‌های بیوژن و مصرف صحیح غذاها می‌تواند به کاهش بروز مسمومیت و مشکلات عصبی ناشی از آن کمک کند. محققان پیشنهاد کردند که نیاز به تحقیقات بیشتر برای درک کامل تأثیرات عصبی این ترکیبات و نحوه مدیریت مصرف آن‌ها وجود دارد (۶۱).

آمین‌های بیوژن به عنوان ترکیباتی طبیعی در غذاها می‌توانند در برخی افراد منجر به بروز واکنش‌های آلرژیک شوند. هیستامین یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آمین‌های بیوژن است که به عنوان یک ماده شیمیایی دخیل در پاسخ‌های آلرژیک و التهابی عمل می‌کند. این ترکیب در اثر اتصال به گیرنده‌های خاص بر روی سلول‌های بافتی، می‌تواند علائم مختلفی از جمله خارش، تورم و التهاب را ایجاد کند. وقتی که سطح هیستامین در بدن به طور تصادفی بالا می‌رود، به خصوص پس از مصرف غذاهای حاوی هیستامین، ممکن است واکنش‌های آلرژیک شدیدتری از جمله آنافیلاکتیک (آنفلاکسی)، واکنش حساسیتی شدید و ناگهانی (دیده شود (۶۰). مصرف غذاهای حاوی آمین‌های بیوژن، به‌ویژه در افرادی که به این ترکیبات حساس هستند، می‌تواند منجر به عوارضی مانند کبهر، گرفتگی بینی و همچنین مشکلات گوارشی شود. این نوع واکنش‌ها بیشتر در افرادی که دارای مشکلات گوارشی مانند عدم تولید آنزیم دی‌آمین اکسیداز هستند، اتفاق می‌افتد. این آنزیم مسئول تجزیه آمین‌های بیوژن به‌ویژه هیستامین در بدن است و عدم فعالیت این آنزیم می‌تواند به تجمع این ترکیبات و در نتیجه بروز علائم آلرژیک منجر شود (۶۲). علاوه بر هیستامین، دیگر آمین‌های بیوژن مانند تیرامین نیز می‌توانند نقشی در بروز واکنش‌های آلرژیک ایفا کنند. تیرامین می‌تواند باعث آزادسازی نوراپی‌نفرین در بدن شود که می‌تواند واکنش‌های مشابه به هیستامین را تحریک کند. در افرادی که تحت درمان با داروهای مهارکننده مونوآمینواکسیداز (MAOIs) هستند، مصرف غذاهای حاوی تیرامین می‌تواند به بروز ناهنجاری‌های جدی نظیر بحران‌های فشار خون بالا منجر شود، که خود به نوعی واکنش آلرژیک محسوب می‌شود (۶۱).

به‌طور کلی، درک دقیق از اثرات آمین‌های بیوژن بر سیستم ایمنی و آلرژی‌ها می‌تواند به پیشگیری از بروز واکنش‌های ناخواسته کمک کند. مدیریت صحیح مصرف غذاهای غنی از آمین‌های بیوژن و افزایش آگاهی درباره خطرات آن‌ها به ویژه برای افرادی که

به این ترکیبات حساسیت دارند، بسیار حائز اهمیت است. برگزاری دوره‌های آموزشی در زمینه معرفی این مواد و علائم آلرژیک مرتبط می‌تواند باعث بهبود کیفیت زندگی این افراد شود (۶۳).

یکی از مقالات مهم در زمینه اثرات آلرژیک ناشی از آمین‌های بیوژن، مطالعه‌ای است که توسط Sullivan & Sweeney (2021) به بررسی سمیت هیستامین و نقش آن در بروز واکنش‌های آلرژیک و هیپرسنسیتیویتی پرداخته است. این مطالعه نشان می‌دهد که هیستامین به‌عنوان یک مدولاتور کلیدی در پاسخ‌های آلرژیک عمل کرده و می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر روی سیستم ایمنی داشته باشد. مقاله به بررسی منابع غذایی حاوی هیستامین از جمله مواد غذایی تخمیری و ماهی‌های فاسد پرداخته و این نکته را مطرح کرده که در افراد حساس، مصرف این نوع غذاها می‌تواند منجر به بروز علائمی چون کهیر، سردرد و مسائل گوارشی شود. در این مطالعه، محققان به بررسی ساختار و مکانیسم عمل هیستامین پرداختند و همچنین توضیح دادند که چگونه سطح بالای این آمین بیوژن می‌تواند منجر به واکنش‌های آلرژیک شدید، از جمله آنافیلاکسی، در برخی افراد شود. آن‌ها همچنین به بررسی ارتباط میان هیستامین و دیگر آمین‌های بیوژن مانند تیرامین و تریپتامین پرداختند و تأثیرات آن‌ها بر روی سیستم ایمنی و بروز علائم آلرژیک را تحلیل کردند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که آگاهی از سطح هیستامین در مواد غذایی و مدیریت آن می‌تواند به کاهش بروز واکنش‌های آلرژیک کمک کند (۶۰).

اتیل کاربامات‌ها

اتیل کاربامات^۱ به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی با اهمیت ویژه در صنایع غذایی و تخمیری مطرح است و تولید آن به‌خصوص در مشروبات الکلی باعث جلب توجه محققان و مقامات نظارتی شده است. این ترکیب طبیعی می‌تواند از اکسیداسیون اوره در مجاورت الکل و در دماهای بالا تشکیل شود. اتیل کاربامات به‌عنوان یک ماده سمی و سرطان‌زا در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند در دوزهای بالا به سلامتی انسان آسیب برساند. بنابراین، شناسایی و کنترل آن در فرآورده‌های تولید بسیار حائز اهمیت است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که عوامل مختلفی نظیر نوع ماده اولیه، شرایط تخمیر و مدت زمان ایستایی می‌توانند بر میزان تشکیل اتیل کاربامات تأثیر گذار باشند. به‌ویژه در تولید مشروبات الکلی، نوع مخمر به‌کاررفته و روش‌های تخمیر به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که می‌توانند سطح تولید این ترکیب را به حداقل برسانند. استفاده از مخمرهایی با توانایی کمتر در تولید اتیل کاربامات یا به‌کارگیری تکنیک‌های و شیوه‌های مختلف تخمیر می‌تواند در کاهش عوارض این ذخیره خطرناک مؤثر باشد. علاوه بر جنبه‌های تولیدی، افزایش آگاهی عمومی در مورد وجود اتیل کاربامات در محصولات غذایی و مشروبات الکلی نیز بسیار مهم است. سازمان‌های بهداشتی و نظارتی به‌دنبال تدوین مقرراتی هستند تا بتوانند سطح مجاز این ترکیب را در محصولات مختلف تعیین کنند و مصرف‌کنندگان را از خطرات آن آگاه سازند. برای این منظور، اطلاع‌رسانی مناسب به مصرف‌کنندگان به‌خصوص در مورد اثرات بلندمدت مصرف مداوم محصولات حاوی اتیل کاربامات ضروری است. تحقیقات جدید همچنین نشان‌دهنده‌ی تلاش‌های زنجیره تأمین برای بهبود کیفیت محصولات است. بسیاری از تولیدکنندگان به‌دنبال روش‌های نوین برای کاهش سطح اتیل کاربامات و جایگزینی ترکیبات ایمن‌تر بوده‌اند. با استفاده از فناوری‌های مدرن و روش‌های سنتز پایدار، می‌تواند فرایندهای

¹ Ethyl carbamate

تخمیر را بهینه‌سازی کرده و در سطحی ایمن‌تر این ترکیب را کنترل کنند. به نظر می‌رسد که این تلاش‌ها می‌تواند به بهبود سلامت عمومی منجر شود. در نهایت، توجه به اتیل کاربامات و مخاطرات مرتبط با آن نیازمند همکاری بین محققان، تولیدکنندگان و مقامات نظارتی است. حداکثر کردن ایمنی مواد غذایی و حفاظت از مصرف‌کنندگان از طریق تحقیقات مستمر و به‌روزرسانی مقررات، باید در اولویت قرار گیرد. این همکاری می‌تواند به توسعه رویکردهای خلاقانه و مؤثر در بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش خطرات برای سلامتی دست یابد (۶۴-۶۵-۶۶).

مکانیسم تشکیل

مسیر واکنش اوره و الکل

یکی از مهم‌ترین مسیرهای تولید اتیل کاربامات، واکنش بین اوره و الکل (معمولاً الکل‌های ساده مانند اتانول) است. در این مکانیزم، اوره که معمولاً به‌عنوان منبع نیتروژن در فرآیندهای تخمیری استفاده می‌شود، در شرایط خاص از دما و pH با الکل‌ها واکنش می‌دهد تا اتیل کاربامات تشکیل دهد. واکنش عمدتاً در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتیگراد و در شرایط اسیدی یا بازی اتفاق می‌افتد (۶۷). این فرایند شامل مراحل مختلفی است. ابتدا، اوره تحت شرایط حرارتی دچار تجزیه می‌شود و آمونیاک و دی‌اکسید کربن آزاد می‌کند. سپس، این آمونیاک می‌تواند با الکل واکنش دهد و ترکیبات واسطه‌ای تولید کند. در مراحل بعدی، این ترکیبات می‌توانند به اتیل کاربامات تبدیل شوند. این فرآیند معمولاً توسط یون‌های فلزی به عنوان کاتالیست تسهیل می‌شود که سرعت واکنش را افزایش می‌دهند (۶۸). محققان نشان داده‌اند که شرایط حرارتی و ترکیب مواد اولیه به‌طور قابل توجهی بر میزان تولید اتیل کاربامات تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، در مشروبات الکلی مانند ویسکی، روش‌های تولید وزمینه‌های تخمیر می‌توانند سطوح تولید این ترکیب را تحت‌الشعاع قرار دهند. این مهم است که تولیدکنندگان با آگاهی از این واکنش‌ها، ناخواسته سطح اتیل کاربامات را تحت کنترل قرار دهند (۶۹).

در یک مطالعه که توسط Ahn (2006) انجام شد، مشخص شد که تولید اتیل کاربامات به ویژه در مشروبات الکلی، تحت تأثیر ترکیب اولیه و شرایط حرارتی می‌باشد. در این تحقیق، اوره در کنار اتانول در دماهای بالا ترکیب شد که منجر به تشکیل اتیل کاربامات گردید. همچنین، این تحقیق نشان داد که با بهینه‌سازی شرایط دما و زمان، می‌توان سطح تولید اتیل کاربامات را کاهش داد (۶۷).

تجزیه و واکنش‌های جانبی

مکانیزم دیگری که موجب تشکیل اتیل کاربامات می‌شود، ناشی از تجزیه محصولات جانبی موجود در فرآیند تخمیر است. در این نوع واکنش، برخی از آمین‌ها و دیگر ترکیبات آلی ممکن است در طی تخمیر تجزیه شوند و تبدیل به ترکیباتی شوند که با الکل‌ها واکنش می‌دهند (۷۰). مثلاً، آمین‌های آروماتیک یا الکل‌های دوگانه می‌توانند عامل تولید اتیل کاربامات باشند. به‌علاوه، در این مسیر، بسته به نوع تخمیر و شرایط محیطی، ممکن است برخی از کاتالیست‌های طبیعی مانند آنزیم‌ها نقش داشته باشند. این آنزیم‌ها می‌توانند واکنش انتقال گروه‌های شیمیایی را تسهیل کرده و بدین ترتیب تشکیل اتیل کاربامات را افزایش دهند. یکی از مهمترین بارزات این واکنش‌ها، تعادل pH در محیط تخمیر است که می‌تواند تجزیه و نوع واکنش‌های جانبی را تحت تأثیر قرار

دهد(67) در نتیجه، برای کاهش خطرات سلامتی ناشی از وجود اتیل کاربامات در محصولات تخمیری، تولیدکنندگان باید به دقت شرایط تخمیر و ترکیبات اولیه را مدیریت کنند تا از تولید این ترکیب مضر جلوگیری کنند. علاوه بر این، تحقیقات به روز در مورد مکانیزم‌های تجزیه و واکنش‌های جانبی به منظور فهم بهتر این فرایندها حیاتی خواهد بود. یک تحقیق توسط Yamamoto و Nishida (2020) نشان داد که واکنش‌های جانبی در حین تخمیر می‌توانند منجر به افزایش تولید اتیل کاربامات شوند. این مقاله به بررسی اثرات آلودگی‌های جانبی و وجود آمین‌ها در محیط تخمیر پرداخته و مشخص کرده که این ترکیبات می‌توانند به اتیل کاربامات تبدیل شوند(۷۰).

نقش مخمرها در تشکیل اتیل کاربامات

انتخاب نوع مخمرها در فرایندهای تخمیری از عوامل کلیدی در میزان تولید اتیل کاربامات است. برخی از مخمرها به دلیل توانایی‌های متابولیک خاص خود می‌توانند سطح بالاتری از اوره و لذا اتیل کاربامات تولید کنند (۷۰). به عنوان مثال، مخمرهای خاصی مانند *Saccharomyces cerevisiae** به خوبی شناخته شده‌اند که می‌توانند در شرایط خاص به تولید مقادیر بالایی از اتیل کاربامات منجر شوند. محققان دریافته‌اند که در شرایط تخمیر، نوع مخمر، زمان تخمیر و دما بر سطح تشکیل اتیل کاربامات تأثیرگذار است. روش‌های نوین تخمیر که از مخمرهای اصلاح شده یا منتخب استفاده می‌کنند نشان داده‌اند که می‌توانند به طور قابل توجهی تولید اتیل کاربامات را کاهش دهند. برای مثال، مخمرهای اصلاح شده ژنتیکی ممکن است به سطح بالاتری از اوره تبدیل نشوند و در نتیجه، سطوح کمتری از اتیل کاربامات تولید کنند(۷۱). علاوه بر این، تعامل‌های بین مخمرها و دیگر میکروارگانیسم‌ها نیز می‌تواند نقش مهمی در تکامل ترکیبات نهایی از جمله اتیل کاربامات ایفا کند. بسیاری از مطالعات بر روی میکروبیوم‌های پیچیده در فرایندهای تخمیر و تأثیرات آن‌ها بر تولیدات نهایی به ویژه در مشروبات الکلی شدیداً مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، تحقیق در زمینه استفاده از مخمرهای خاص و بهینه‌سازی فرایندهای تخمیر می‌تواند منجر به کاهش تشکیل اتیل کاربامات گردد (۶۹).

تحقیق دیگری که توسط Fujisawa و Yamamoto (2019) انجام شده است، نشان می‌دهد که انتخاب نوع مخمر در فرایند تخمیر به شدت بر تولید اتیل کاربامات تأثیرگذار است. این تحقیق همچنین بر اهمیت استفاده از مخمرهای منتخب و بهینه‌سازی مخلوط‌های تخمیری به منظور کاهش اتیل کاربامات تأکید دارد(۶۹).

شرایط عملیاتی و تأثیرات آن‌ها

شرایط عملیاتی مانند دما، زمان تخمیر و pH محیط از عوامل مهمی هستند که می‌توانند بر فرایند تشکیل اتیل کاربامات تأثیر بگذارند. افزایش دما معمولاً منجر به افزایش سرعت واکنش‌ها و در نتیجه تولید بیشتر اتیل کاربامات می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در دماهای بالاتر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد، واکنش‌های ایجاد اتیل کاربامات به طرز معناداری افزایش می‌یابد (۶۸) علاوه بر دما، زمان تخمیر نیز بر روی تولید اتیل کاربامات تأثیر قابل توجهی دارد. در فرایندهای تخمیر طولانی‌تر، احتمال تشکیل ترکیبات جانبی و واکنش‌های شیمیایی افزایش می‌یابد که می‌تواند به تولید اتیل کاربامات بینجامد pH محیط نیز یکی از عواملی است که باید به دقت تحت کنترل قرار گیرد؛ تغییرات در pH محیط می‌تواند نتایج متفاوتی در تولید این ترکیب داشته باشد (۶۷)

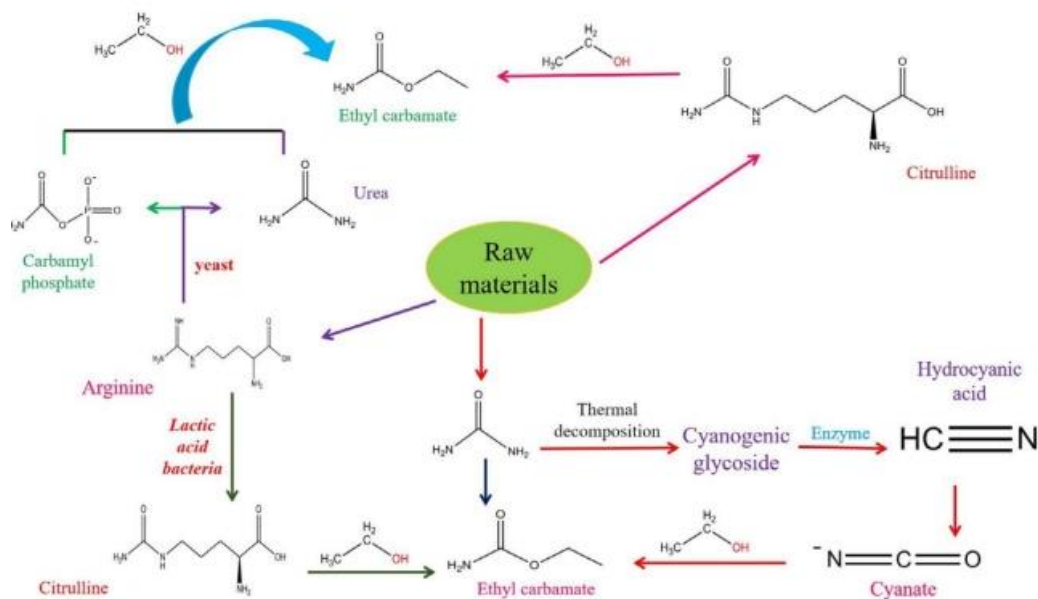
مدیریت بهینه شرایط عملیاتی می‌تواند به کاهش میزان اتیل کاربامات در محصولات نهایی کمک کند. لذا مطالعه و تحقیق در زمینه تأثیرات شرایط مختلف بر روی تولید اتیل کاربامات باید در اولویت قرار گیرد تا صنعت تخمیر به ایمنی و کیفیت بالاتری دست یابد.

یک مطالعه که توسط Zhou و همکاران (۲۰۲۲) انجام شده، نشان می‌دهد که شرایط عملیاتی مانند دما و pH تأثیر مستقیمی بر روی تشکیل اتیل کاربامات دارند. این تحقیق ثابت کرد که کنترل دقیق دما و زمان تخمیر می‌تواند منجر به کاهش سطوح اتیل کاربامات شود و شیوه‌های عملیاتی می‌توانند به عنوان ابزارهای مؤثری در این راستا عمل کنند (۶۸).

نقش بسته‌بندی و نگهداری

شرایط نگهداری و بسته‌بندی محصولات تخمیری نیز می‌تواند به تولید اتیل کاربامات کمک کند. عواملی مانند دما، نور و رطوبت در فرآیند نگهداری می‌توانند بر تشکیل این ترکیب خطرناک تأثیر بگذارند. برای مثال، قرار گرفتن در معرض نور می‌تواند به تجزیه ترکیبات آلی و در نتیجه به تشکیل اتیل کاربامات منجر شود (۶۹). در طی آزمایش‌ها، مشاهده شده که محصولات بهتر در شرایط کم‌نور و دماهای پایین نگهداری می‌شوند و این موضوع به کاهش تولید اتیل کاربامات کمک می‌کند. علاوه بر این، بسته‌بندی‌های مناسب که از ورود هوا و رطوبت جلوگیری می‌کنند، می‌توانند به کاهش واکنش‌های شیمیایی و تولید اتیل کاربامات کمک کنند (۷۰). مضاف بر این، استفاده از تکنیک‌های نوین نگهداری مانند بسته‌بندی خلاء و نانو فناوری می‌تواند به حفظ کیفیت و کاهش خطرات مرتبط با اتیل کاربامات کمک کند. بنابراین، توجه به شرایط نگهداری و بسته‌بندی محصولات تخمیری باید بخشی از استراتژی‌های کاهش سطح اتیل کاربامات در صنعت غذایی باشد (۷۱).

تحقیق انجام شده توسط Rahman و Kader (2023) به بررسی تأثیر شرایط نگهداری و بسته‌بندی بر روی سطوح اتیل کاربامات در محصولات تخمیری پرداخته است. آن‌ها دریافتند که بسته‌بندی مناسب و نگهداری در شرایط بهینه می‌تواند به‌طور قابل توجهی به کاهش تولید اتیل کاربامات کمک کند و روشن ساختند که عدم نور و دماهای پایین به حفظ کیفیت و ایمنی محصولات منجر می‌شود (۷۱). شکل ۱ به‌طور کلی نشان‌دهنده مسیرهای مختلف شیمیایی و میکروبی مرتبط با تولید اتیل کاربامات در تولیدات تخمیری است.



شکل ۱: مسیرهای مختلف شیمیایی و میکروبی مربوط به تولید اتیل کاربامات در محصولات تخمیری

Figure 1: Different chemical and microbial pathways related to the production of ethyl carbamate in fermented products

روش های شناسایی

کروماتوگرافی گازی-طیف سنجی جرمی (GC-MS)

کروماتوگرافی گازی-طیف سنجی جرمی (GC-MS) یک تکنیک تحلیلی قدرتمند است که به طور گسترده ای برای شناسایی و اندازه گیری ترکیبات آلی فرار، از جمله اتیل کاربامات، استفاده می شود. این روش ترکیبی از دو تکنیک است: کروماتوگرافی گازی و طیف سنجی جرمی. در مرحله اول، نمونه در دماهای بالا بخار می شود و سپس بخار ترکیبات از طریق ستون کروماتوگرافی عبور می کند. در این ستون، ترکیبات بر اساس ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خود جداسازی می شوند. در کروماتوگرافی گازی، ترکیبات در یک مرحله گاز به شدت از یک مایع (فاز متحرک) عبور می کنند. این فرایند باعث می شود تا ترکیبات با نقاط جوش مختلف به صورت جداگانه تجزیه شوند. در نهایت، هر ترکیب جدا شده وارد طیف سنج جرمی می شود که تجزیه و تحلیل دقیق تری از آن ها ارائه می دهد.

در مرحله بعد، ترکیبات وارد طیف سنجی جرمی می شوند، که در آن آنالیز جرمی ترکیبات را بر اساس نسبت جرم به بار (m/z) شناسایی می کند. این اطلاعات به پژوهشگران کمک می کند تا ترکیبات را شناسایی و غلظت های آن ها را اندازه گیری کنند. GC-MS به دلیل دقت و حساسیت بالایی که دارد، به عنوان روش استاندارد برای تجزیه و تحلیل اتیل کاربامات در محصولات تخمیری شناخته شده است. این روش دارای مزایای متعددی است، از جمله قابلیت شناسایی هم زمان چندین ترکیب، دقت بالا و حساسیت

لازم برای اندازه‌گیری مقادیر کم از اتیل کاربامات. همچنین، این تکنیک به دلیل توانایی در شناسایی ترکیبات پیچیده در ماتریس‌های غذایی، به‌ویژه در صنعت نوشیدنی‌های الکلی، بسیار کاربردی است (۷۲) در یک مطالعه، Watanabe و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی روش GC-MS برای شناسایی اتیل کاربامات در نوشیدنی‌های الکلی پرداختند. این تحقیق نشان داد که با استفاده از GC-MS می‌توان غلظت‌های کم اتیل کاربامات را به‌طور مؤثر شناسایی و اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد که این روش قابلیت دقت و حساسیت بالا را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک روش استاندارد برای تعیین اتیل کاربامات در نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۷۲).

کروماتوگرافی مایع با فشار بالا (HPLC)

کروماتوگرافی مایع با فشار بالا (HPLC) یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد برای شناسایی و اندازه‌گیری اتیل کاربامات است. این روش به‌ویژه برای تجزیه و تحلیل ترکیبات غیر فرار و قطبی مناسب می‌باشد. در HPLC، نمونه تحت فشار از یک ستون کروماتوگرافی عبور می‌کند که در آن ترکیبات مختلف براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود جدا می‌شوند. در این روش، ترکیبات معمولاً بر اساس اندازه، بار یا قطبیت آن‌ها در طول ستون جدا می‌شوند. محلول حلال (فاز مایع) به نمونه اضافه می‌شود و به‌همراه ترکیبات از ستون عبور می‌کند. در این فرآیند، زمان اقامت ترکیبات متفاوت است و این مسئله منجر به جداسازی آن‌ها می‌شود. برای اندازه‌گیری غلظت ترکیبات جداشده، عموماً از detectorهای UV یا فلورسانس استفاده می‌شود. این detectorها قادر به اندازه‌گیری تغییرات در شدت نور هستند که به غلظت ترکیبات مرتبط است. به‌واسطه این روش، امکان شناسایی دقیق اتیل کاربامات فراهم می‌شود HPLC. به‌دلیل دقت و سرعت غیربازگشتی آن، در آزمایشگاه‌های مختلف به‌ویژه برای کنترل کیفیت استفاده می‌شود. همچنین، این روش به‌ویژه برای جداسازی ترکیبات قطبی مؤثرتر از GC است. این مزایا HPLC را به یک تکنیک کلیدی در تحلیل محصولات تخمیری تبدیل کرده است (۷۳).

مطالعه‌ای که توسط Lee و Kim (2019) انجام شد، نشان داد که با استفاده از HPLC می‌توان اتیل کاربامات را در نوشیدنی‌های الکلی به‌طور دقیق و سریع شناسایی کرد. نتایج نشان داد که این روش قادر به اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم (زیر ۱ میکروگرم در لیتر) از اتیل کاربامات است و می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر برای کنترل کیفیت در صنعت غذا و نوشیدنی مورد استفاده قرار گیرد (۷۳).

طیف‌سنجی نوری (Spectrophotometry)

طیف‌سنجی نوری یک روش ساده و مؤثر برای شناسایی و اندازه‌گیری غلظت اتیل کاربامات است. در این روش، جذب نور توسط نمونه اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین غلظت اتیل کاربامات، در ابتدا باید طول موج مناسب انتخاب شود که بیشترین جذب برای این ترکیب را نشان دهد. در این روش، پس از انتخاب طول موج، نمونه در دستگاه طیف‌سنج قرار می‌گیرد و نور از آن عبور می‌کند. با اندازه‌گیری جذب نور در طول موج انتخابی، می‌توان تعیین کرد که چه مقدار از نور توسط ترکیب جذب شده است. از رابطه Beer-Lambert (قانون Beer-Lambert) رابطه بین غلظت یک ماده حل شده و میزان نور جذب شده توسط آن را توصیف می‌کند. این قانون بیان می‌کند که هر چه غلظت ماده یا طول مسیر نور بیشتر باشد، نور بیشتری جذب می‌شود. می‌توان برای

تعیین غلظت اتیل کاربامات استفاده کرد. این روش دارای مزایای متعددی از جمله سادگی در انجام آزمایش، کم هزینه بودن و امکان استفاده در آزمایشگاه‌های کوچک است. همچنین، این تکنیک به موجب ویژگی‌های اپتیکی می‌تواند برای محصولات مختلف مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، این روش دارای محدودیت‌هایی نیز هست. به عنوان مثال، وجود تداخل از سایر ترکیبات در نمونه می‌تواند مقدار جذب نور را کاهش دهد و باعث خطا در نتایج شود. بنابراین، استفاده از این روش نیاز به دقت و کنترل شرایط آزمایش دارد (۷۴)

یک مطالعه توسط Huang و همکاران (۲۰۲۱) به شناسایی اتیل کاربامات در نوشیدنی‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی نوری پرداخت. نتایج نشان داد که این روش به خوبی می‌تواند اتیل کاربامات را تشخیص دهد و در غلظت‌های پایین (زیر ۵ میکروگرم در لیتر) قابلیت شناسایی دارد. این نتایج نشان می‌دهد که طیف‌سنجی نوری می‌تواند به عنوان یک روش ساده و سریع برای شناسایی اتیل کاربامات استفاده شود (۷۴)

تکنیک‌های الکتروشیمیایی

تکنیک‌های الکتروشیمیایی برای شناسایی و اندازه‌گیری اتیل کاربامات به کار می‌روند. این روش شامل ایجاد یک الکتروود خاص است که می‌تواند به طور انتخابی به اتیل کاربامات واکنش نشان دهد. الکتروود به وسیله مواد شیمیایی خاصی که قابلیت شناسایی اتیل کاربامات را دارند، حساس‌سازی می‌شود. پس از تامین شرایط الکتروشیمیایی مناسب، نمونه از طریق الکتروود عبور داده می‌شود. در این مرحله، تغییرات در جریان یا ولتاژ الکتریکی می‌تواند به غلظت اتیل کاربامات مرتبط باشد. بنابراین، اندازه‌گیری این تغییرات به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا غلظت اتیل کاربامات را تعیین کنند. یکی از مزایای این تکنیک حساسیت و دقت بالای آن است. همچنین، روش‌های الکتروشیمیایی به راحتی می‌توانند در محیط‌های پیچیده و مختلف مورد استفاده قرار گیرد. این تکنیک می‌تواند در مقایسه با دیگر روش‌ها، زمان کمتری برای تجزیه و تحلیل نیاز داشته باشد. از محدودیت‌های این روش می‌توان به نیاز به الکتروودهای خاص و شرایط آزمایش دقیق اشاره کرد. همچنین، وجود ترکیبات دیگر در نمونه می‌تواند بر دقت اندازه‌گیری تأثیر بگذارد (۷۵)

در تحقیقی که توسط Gonzalez و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، تکنیک‌های الکتروشیمیایی برای شناسایی و اندازه‌گیری اتیل کاربامات در نمونه‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که این روش می‌تواند اتیل کاربامات را در غلظت‌های پایین ۰.۱ میکروگرم در لیتر شناسایی کند و به عنوان یک تکنیک مؤثر و قابل اعتماد در صنایع غذایی پیشنهاد شد (۷۵)

تکنیک‌های میکروبی و بیولوژیکی

تکنیک‌های میکروبی و بیولوژیکی به بررسی واکنش‌های میکروبی و آنزیمی در شناسایی و اندازه‌گیری اتیل کاربامات پرداخته‌اند. این روش شامل استفاده از باکتری‌ها و مخمرهایی است که می‌توانند اتیل کاربامات را تولید یا تجزیه کنند. در این فرایند، باکتری‌ها یا مخمرهای خاص به یک محیط کشت اضافه می‌شوند. سپس، تغییرات در تولید یا مصرف اتیل کاربامات مورد بررسی قرار می‌گیرد. این تکنیک می‌تواند به طور غیرمستقیم وجود یا غلظت اتیل کاربامات را نشان دهد. تکنیک‌های میکروبی به

پژوهشگران این امکان را می‌دهند که درک بهتری از مکانیزم‌های تبدیل و تولید اتیل کاربامات داشته باشند. همچنین، این روش می‌تواند بر توسعه استراتژی‌های کنترل و پیشگیری از تولید اتیل کاربامات در محصولات تخمیری مؤثر باشد (۶۹). با وجود مزایای این روش، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. برای مثال، این روش ممکن است زمان‌بر باشد و نیاز به بررسی دقیق شرایط آزمایشگاه داشته باشد. همچنین، میزان تولید اتیل کاربامات ممکن است تحت تأثیر شرایط محیطی و نوع میکروارگانیسم‌ها قرار گیرد.

Fujisawa و Yamamoto (2019) در مطالعه‌ای به بررسی مکانیزم‌های تولید اتیل کاربامات در غذاهای تخمیری پرداختند. نتایج نشان داد که برخی باکتری‌ها و مخمرها می‌توانند به‌طور طبیعی اتیل کاربامات را تولید کنند و این تولید تحت تأثیر شرایط تخمیر قرار دارد. این تحقیق به شناخت بهتر مولفه‌های طبیعی تولید اتیل کاربامات کمک کرد و راهکارهایی برای کاهش تولید آن در فرآورده‌های تخمیری ارائه داد (۶۹).

اثرات بهداشتی و خطرات مرتبط

اتیل کاربامات (Ethyl Carbamate) یک ترکیب شیمیایی است که به‌صورت طبیعی در بعضی از محصولات تخمیری مانند مشروبات الکلی و برخی محصولات لبنی تولید می‌شود. این ماده به‌خصوص در فرآورده‌های تخمیر الکل به وجود می‌آید و به‌عنوان یکی از عوامل خطرزا برای سلامت انسان شناخته شده است. اتیل کاربامات به علت خواص سرطان‌زایی‌اش توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بر اساس بررسی‌ها، این ترکیب می‌تواند باعث وقوع سرطان‌های مختلف، به ویژه در سیستم گوارش و کبد شود (۷۶).

تحقیقات نشان داده‌اند که اتیل کاربامات در بدن می‌تواند به موادی تبدیل شود که به DNA آسیب می‌زنند و در نتیجه احتمال بروز سرطان را افزایش می‌دهند. مطالعاتی که بر روی حیوانات آزمایشگاهی انجام شده، نشان داده‌اند که مصرف اتیل کاربامات می‌تواند منجر به ایجاد تومورهای سرطانی در کبد و کلیه‌ها شود (۷۷). این یافته‌ها نشان‌دهنده خطر جدی این ماده برای سلامت انسان‌ها هستند و ضرورت بررسی‌های بیشتری در این زمینه را گوشزد می‌کنند. علاوه بر سرطان‌زایی، اتیل کاربامات دارای اثرات منفی دیگری نیز بر سلامت انسان است که شامل سمیت و آسیب به سیستم عصبی می‌شود. مواد شیمیایی معلق در فرآورده‌های تخمیر که ممکن است بر اثر اتیل کاربامات ایجاد شوند، نیازمند کنترل و نظارت دقیق در صنایع غذایی به‌ویژه در تولید نوشیدنی‌های الکلی و محصولات لبنی هستند (۷۸). به همین دلیل، تولیدکنندگان باید به بهبود فرآورده‌های تخمیر و کاهش غلظت اتیل کاربامات در محصولات خود توجه کنند.

نهادهای بهداشتی و تنظیم‌کننده‌ها، مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان ملی بهداشت محیط آمریکا (EPA)، به‌طور مرتب محدودیت‌هایی را در مورد میزان مجاز اتیل کاربامات در محصولات غذایی و آشامیدنی تعیین کرده‌اند. اقدامات پیشگیرانه برای کنترل کیفیت محصولات تخمیری ضروری است تا از خطرات سرطان‌زایی و سایر عوارض سلامتی جلوگیری شود (۷۹). توجه به این نکته که نه تنها اتیل کاربامات بلکه سایر مواد زائد شیمیایی نیز می‌توانند مفاصل مشابهی داشته باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه، سرطان‌زایی اتیل کاربامات به‌عنوان یکی از اثرات بهداشتی خطرناک مرتبط با تولید محصولات تخمیری باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. اطلاع‌رسانی به مصرف‌کنندگان، انجام تحقیقات بیشتر و بهبود فرآورده‌های تولید می‌تواند به

کاهش خطرات ناشی از این ماده کمک کند. همچنین، نیاز به توسعه روش‌های نوین برای شناسایی و پایش اتیل کاربامات در صنایع غذایی را می‌توان به‌عنوان یک اولویت قلمداد کرد.

اتیل کاربامات، که به‌عنوان یک آلاینده طبیعی در محصولات تخمیری شناسایی شده، به‌ویژه در مشروبات الکلی و برخی از محصولات لبنی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این ترکیب به‌دلیل سرطان‌زایی‌اش از سوی سازمان‌های بهداشتی بین‌المللی، از جمله سازمان جهانی بهداشت (WHO)، مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه‌ای که توسط Shih (2019) انجام شد تأثیرات سرطان‌زایی اتیل کاربامات در بر روی انسان‌ها و مدل‌های حیوانی بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که مصرف اتیل کاربامات با افزایش خطر ابتلا به انواع خاصی از سرطان، به‌ویژه سرطان‌های کبد و دستگاه گوارش، مرتبط است. همچنین، این ماده می‌تواند به DNA آسیب برساند و موجب ایجاد تومورها در بافت‌های آسیب‌دیده شود. این مقاله بر ضرورت اقدامات پیشگیرانه و نظارتی در کنترل غلظت اتیل کاربامات در تولید محصولات تخمیری تأکید دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اتیل کاربامات به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا در محصولات تخمیری، یک نگرانی جدی برای سلامت عمومی است. از آنجا که این ترکیب به‌طور طبیعی در برخی از فرآورده‌های تولید غذا و نوشیدنی به وجود می‌آید، کنترل و کاهش آن در محصولات نهایی ضروری است. توصیه می‌شود که صنایع غذایی با توجه به استانداردها و محدودیت‌های تعیین شده توسط نهادهای بهداشتی، روش‌های تولید را بهبود بخشند و بر اجرای کنترل کیفیت سختگیرانه‌تر تمرکز کنند. انجام تحقیقات بیشتر به‌منظور بررسی اثرات درازمدت اتیل کاربامات و توسعه راهکارهای مؤثر برای کاهش آن در غذاها و نوشیدنی‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است (۸۰).

تحقیقات نشان می‌دهند که اتیل کاربامات می‌تواند به‌عنوان یک عامل کبدی سمی نیز عمل کند. مطالعات انجام شده بر روی حیوانات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که این ترکیب می‌تواند منجر به آسیب‌های کبدی از جمله التهاب، فیروز و حتی ایجاد تومورهای کبدی شود. اثرات منفی اتیل کاربامات بر کبد به دلیل توانایی این ماده در القای شرایط استرس اکسیداتیو و آسیب به سلول‌های کبدی است که باعث کاهش عملکرد طبیعی کبد می‌شود (۸۰). علاوه بر آسیب‌های مستقیم به سلول‌های کبدی، اتیل کاربامات می‌تواند به تغییرات متابولیکی در کبد منجر شود. مواد سمی مانند این ترکیب می‌توانند بر روی مسیرهای متابولیکی کبد تأثیر بگذارند و در نتیجه به بروز ناهنجاری‌های متابولیکی منجر شوند. این حالت نه تنها بر عملکرد کبد تأثیر منفی دارد، بلکه می‌تواند سیستم ایمنی بدن را نیز تحت تأثیر قرار دهد (۷۸) از آنجا که کبد یکی از اندام‌های اصلی در سم‌زدایی مواد در بدن است، آسیب به این ارگان می‌تواند منجر به افزایش غلظت مواد سمی در خون و بروز عوارض جانبی جدی شود. نتایج مطالعه‌ای که بر روی موش‌های آزمایشگاهی انجام شده، نشان می‌دهد که مصرف اتیل کاربامات به‌صورت خوراکی نه تنها کبد را تحت فشار قرار می‌دهد، بلکه به بروز عوارضی از جمله نارسایی کبدی نیز می‌انجامد (۸۱). نهادهای بهداشتی جهانی مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) به‌دلیل خطرات بهداشتی مرتبط با اتیل کاربامات، محدودیت‌هایی را برای غلظت مجاز این ماده در مواد غذایی و مشروبات الکلی تعیین کرده‌اند. این محدودیت‌ها به‌منظور محافظت از سلامت عمومی و جلوگیری از بروز آسیب‌های کبدی و سایر عوارض ناشی از مصرف طولانی‌مدت این ترکیب ایجاد شده‌اند (۸۱) نتیجه‌گیری می‌شود که اتیل کاربامات به‌عنوان یک ترکیب سمی و سرطان‌زا قادر است آسیب‌های جدی به کبد و عملکرد آن وارد

کند. بنابراین، اجرای راهکارهای مؤثر برای کنترل غلظت این ماده در فرآورده‌های غذایی و به‌ویژه محصولات تخمیری از اهمیت بالایی برخوردار است. تحقیقات بیشتر در این زمینه و توسعه روش‌های مختص برای کاهش غلظت اتیل کاربامات در صنایع غذایی، اقدامی ضروری برای حفظ سلامت عمومی به شمار می‌رود.

علاوه بر اثرات مستقیم بر کبد، اتیل کاربامات همچنین می‌تواند به افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های کبدی مزمن و نارسایی کبدی منجر شود. داده‌های به‌دست‌آمده از تحقیقات پیشین نشان می‌دهند که این ترکیب می‌تواند عملکرد کبد را تضعیف کرده و باعث تجمع مواد سمی در بدن شود (۸۱). به همین دلیل، آگاهی از خطرات بهداشتی ناشی از این آلاینده و نظارت بر سطح آن در محصولات غذایی ضروری است. مدیریت و کنترل غلظت اتیل کاربامات در صنایع غذایی و به‌خصوص در فرآورده‌های تخمیری باید به‌عنوان یک اولویت در نظر گرفته شود. نهادهای بهداشتی نظیر سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) اقدامات محدودکننده‌ای را در این زمینه پیشنهاد کرده‌اند که حاکی از لزوم نگاه جدی به این موضوع است (۸۲).

خطرات مرتبط با ترکیبات تخمیری

میکروبیوم دستگاه گوارش انسان و محصولات تخمیری نقش مهمی در تولید آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات دارد. آمین‌های بیوژن ترکیبات نیتروژنی هستند که از متابولیسم اسیدهای آمینه توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. در فرآورده‌های تخمیری، میکروب‌ها به ویژه نوعی باکتری به نام *Lactobacillus* و برخی قارچ‌ها مانند *Saccharomyces cerevisiae* قادرند این ترکیبات را از پروتئین‌های موجود در مواد خام تولید کنند (۸۳). اتیل کاربامات، یک ترکیب سمی است که معمولاً در فرآورده‌های تخمیری یافت می‌شود و می‌تواند ناشی از فعالیت میکروبی باشد. تحقیقات نشان داده است که برخی از باکتری و مخمرها در طی تخمیر الکل و سایر مواد غذایی، این ترکیب را به عنوان محصول جانبی تولید می‌کنند. این امر به دلیل تبدیل مواد اولیه غنی از اوره به اتیل کاربامات می‌باشد (۸۴). علاوه بر این، ترکیب میکروبیوم تأثیر بسزایی بر تنوع و مقدار آمین‌های بیوژن تولیدی دارد. شرایط محیطی، نوع میکروبیوم و همچنین نوع و ترکیب منابع غذایی می‌توانند بر میزان تولید این ترکیبات تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، برخی میکروبیوم‌ها به تولید سطوح بالاتر آمین‌های بیوژن در مقایسه با دیگران شناخته می‌شوند (۸۵). در نتیجه، شناخت دقیق و علمی نقش میکروبیوم در تولید آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات می‌تواند برای بهبود کیفیت محصولات تخمیری و کاهش خطرات مرتبط با این ترکیبات سمی ضروری باشد. از آنجا که مأموریت‌های تخمیری به جمع‌آوری درک عمیق‌تری از تغییرات میکروبی وابسته است، این تحقیقات می‌توانند به طراحی استراتژی‌های مدیریتی مؤثر برای کنترل آنزیم‌ها و میکروبیوم‌ها کمک کند (۸۶).

بر اساس مطالعه Jiang و همکاران (۲۰۲۱) میکروبیوم‌ها در تولید آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات در محصولات تخمیری به‌طور قابل توجهی تأثیرگذار هستند. این مقاله نشان می‌دهد که انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها، به ویژه باکتری‌ها و مخمرها، می‌توانند با متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌های مرتبط، سطوح متفاوتی از آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات را تولید کنند. همچنین، عواملی مانند نوع مواد خام، شرایط تخمیر (از جمله دما و زمان تخمیر) و ترکیب میکروبیوم در این فرایندها نقش حیاتی دارند. محققان تأکید

کرده‌اند که کنترل و مدیریت میکروبیوم‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت محصولات تخمیری و کاهش خطرات سلامتی مرتبط با وجود این ترکیبات سمی کمک کند. آنها همچنین پیشنهاد می‌کنند که تحقیقات بیشتری برای درک بهتر تاثیر متقابل میان میکروبیوم و فرآیندهای تخمیری مورد نیاز است تا استراتژی‌های مؤثری برای بهینه‌سازی تولید محصولات ایمن و با کیفیت بالاتر ارائه شود (۸۵).

شواهد علمی نشان می‌دهد که شرایط مختلف فرآیند تخمیر می‌توانند بر میزان تولید آمین‌های بیوژن تأثیر بگذارند. مثلاً، در دماهای بالاتر یا زمان‌های طولانی‌تر تخمیر، امکان تولید این ترکیبات افزایش می‌یابد. همچنین، نوع مواد اولیه و نحوه پیش‌پردازش آنها نیز می‌تواند بر غلظت آمین‌های بیوژن تأثیر داشته باشد. در همین راستا، پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند که کنترل شرایط تخمیر می‌تواند به کاهش خطرات مرتبط با آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات کمک کند (۸۶). به‌طور کلی، فرآیند تخمیر علاوه بر اینکه تأثیرات مثبت و نمایان بر طعم و بافت محصولات غذایی دارد، می‌تواند به تولید ترکیباتی مانند آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات منجر شود که ممکن است برای سلامتی خطرناک باشند. بنابراین، درک دقیق این فرآیندها و مدیریت مؤثر شرایط تخمیر برای تولید محصولات غذایی ایمن و با کیفیت بالا بسیار حائز اهمیت است.

مطالعه Chen و همکاران (۲۰۱۹) به وضوح نشان می‌دهد که فرآیند تخمیر می‌تواند تأثیر زیادی بر تولید آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات داشته باشد. نتایج این تحقیق بیان می‌کند که شرایط مختلف تخمیر مانند دما، زمان تخمیر و نوع میکروبیوم در حال حاضر، سطوح آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. باکتری‌ها و مخمرها به عنوان عوامل اصلی تولید این ترکیبات شناخته شده‌اند و ایجاد تنوع در میکروبیوم می‌تواند به بهبود کیفیت و کاهش خطرات سلامتی مرتبط با این ترکیبات کمک کند.

تحقیقات نشان داد که افزایش دما و زمان تخمیر می‌تواند منجر به تولید سطوح بالاتری از آمین‌های بیوژن شود، در حالی که شرایط قلبایی، میل به تولید اتیل کاربامات را افزایش می‌دهد. همچنین، میکروارگانیسم‌های خاص باعث تولید ترکیبات متابولیکی خاصی می‌شوند که می‌توانند به صورت مثبت یا منفی بر کیفیت نهایی محصولات تخمیری تأثیر بگذارند. این نتایج بر اهمیت نظارت دقیق بر فرآیندهای تخمیر و مدیریت مؤثر شرایط آن تأکید می‌کند (۸۶).

کنترل و کاهش خطرات مرتبط با آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات در محصولات تخمیری نیازمند مداخلات دقیق در فرآیند تولید این محصولات است. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در این زمینه، مدیریت شرایط فرآیند تخمیر است. شرایطی مانند دما، زمان تخمیر و pH می‌توانند بر فعالیت میکروبی و متابولیسم تولیدکننده‌های این ترکیبات سمی تأثیر بگذارند. به‌عنوان مثال، کاهش دما و کنترل زمان تخمیر می‌تواند به حداقل رساندن تولید آمین‌های بیوژن کمک کند (۸۷). نوع میکروبیوم مورد استفاده نیز عاملی کلیدی در کنترل سطح تولید بیوژن و اتیل کاربامات است. انتخاب میکروارگانیسم‌های مناسب می‌تواند به کاهش تشکیل این ترکیبات کمک کند. برخی از باکتری‌ها و مخمرهای خاص به‌طور طبیعی کمتر آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات تولید می‌کنند. بنابراین، شناسایی و استفاده از این میکروبیوم‌ها می‌تواند به بهبود ایمنی محصولات تخمیری کمک کند (۸۸). اقدامات مدیریتی دیگر شامل کنترل کیفیت مواد اولیه است. استفاده از منابع غذایی با کیفیت بالا و تازه می‌تواند به کاهش خطر تولید آمین‌های

بیوژن و اتیل کاربامات کمک کند. مواد اولیه‌ای که غنی از نیترات یا اوره هستند، می‌توانند به تولید این ترکیبات سمی در طول تخمیر منجر شوند. به همین دلیل، توصیه می‌شود که تولیدکنندگان از مواد اولیه با کیفیت و با سطوح پایین نیترات و اوره استفاده کنند (89). در نهایت، آموزش و آگاهی تولیدکنندگان در مورد خطرات احتمالی و روش‌های کنترل آنها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برگزاری کارگاه‌ها و آموزش‌های تخصصی می‌تواند به بهبود دانش فنی تولیدکنندگان کمک کند و در نتیجه کیفیت و ایمنی محصولات تخمیری را ارتقا دهد. این آموزش‌ها می‌توانند به تولیدکنندگان کمک کنند تا بهترین شیوه‌ها را برای مدیریت شرایط تخمیر و جلوگیری از تولید ترکیبات خطرناک در نظر بگیرند (۹۰).

مطالعه Hernández-Jover و همکاران (2019) نشان می‌دهد که شرایط متغیر مانند دما، زمان تخمیر، و pH تأثیر قابل توجهی بر تولید آمین‌های بیوژن در محصولات تخمیری دارد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که با افزایش دما و زمان تخمیر، سطوح آمین‌های بیوژن نیز افزایش می‌یابد، به ویژه در فرآورده‌های گوشتی و لبنی. همچنین، pH به عنوان یک عامل مهم در تنظیم فعالیت میکروبی و بنابراین، میزان تولید این ترکیبات شناخته شده است. محققان تأکید کردند که انتخاب میکروارگانیسم‌های خاص و بهینه‌سازی شرایط تخمیر می‌تواند به کنترل و کاهش تولید آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات کمک کند. این مقاله همچنین روش‌هایی برای کاهش خطرات مرتبط با این ترکیبات، شامل کنترل دقیق مواد اولیه و آموزش تولیدکنندگان، مورد بررسی قرار داده است. در نهایت، کنترل کیفیت در طول فرآیند تخمیر به عنوان یک استراتژی کلیدی برای تضمین ایمنی و کیفیت نهایی این محصولات توصیه شده است (۸۷).

مقررات و استانداردها

برای تضمین کیفیت و ایمنی محصولات تخمیری، استانداردهای ملی و بین‌المللی زیادی وجود دارد. سازمان‌هایی نظیر سازمان جهانی بهداشت (WHO) و سازمان غذا و کشاورزی (FAO) دستورالعمل‌ها و استانداردهایی برای این محصولات وضع کرده‌اند (۹۱). این استانداردها شامل معیارهای حداکثری برای آلودگی‌های میکروبی، ترکیبات شیمیایی و فیزیکی، و همچنین الزامات مربوط به بسته‌بندی و نگهداری محصولات می‌شوند. رعایت این استانداردها باعث می‌شود که محصولات تخمیری از نظر ایمنی مصرف قابل اطمینان باشند و در بازار جهانی رقابتی باقی بمانند. آزمایشگاه‌ها به طور منظم از روش‌های مختلف برای تحلیل آلودگی‌های میکروبی در محصولات تخمیری استفاده می‌کنند. روش‌های معمول شامل کشت میکروبی و آزمون‌های بیوشیمیایی هستند که به شناسایی و شمارش باکتری‌ها و مخمرها کمک می‌کنند. استفاده از تکنیک‌های مدرن مانند PCR^۲ (واکنش زنجیره‌ای پلیمراز) به شناسایی سریع و دقیق میکروارگانیسم‌ها کمک می‌کند (۹۲). این روش‌ها جزو الزامات استانداردهای ایمنی مواد غذایی جهانی هستند و به پیشگیری از آلودگی‌های جدی و خطرناک در محصولات تخمیری کمک می‌کنند. آزمون‌های شیمیایی به تحلیل ترکیبات موجود در محصولات تخمیری اختصاص دارد. بررسی سطوح پروتئین، چربی، قند و اسیدهای آلی از جمله موارد ضروری در این آزمون‌هاست. تکنیک‌های پیشرفته‌ای چون کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) و طیف‌سنجی جرمی (MS) به کار می‌روند تا غلظت ترکیبات مختلف را به دقت اندازه‌گیری کنند (۹۳). این اطلاعات به تولیدکنندگان کمک

² Polymerase Chain Reaction

می‌کند تا کیفیت نهایی محصولات خود را بهتر تحت کنترل داشته باشند و اطمینان حاصل کنند که محصولاتشان مطابق با استانداردها است. آزمون‌های حسی برای ارزیابی کیفیت حسی محصولات تخمیری، مانند طعم، بو، بافت و ظاهر، بسیار مهم بوده و شامل اعضای هیئت‌های تخصصی و مصرف‌کنندگان می‌شوند این آزمون‌ها به طور معمول شامل استفاده از پانل‌های حسی است که محصول را در شرایط کنترل‌شده ارزیابی می‌کنند تا اطلاعات دقیق‌تری در مورد ترجیحات مصرف‌کنندگان و پذیرش محصول کسب کنند. استفاده از روش‌های استاندارد در آزمون‌های حسی می‌تواند بهبود کیفیت و قابلیت بازاریابی محصولات را تسهیل کند (۹۴). استانداردها و روش‌های آزمون محصولات تخمیری از اهمیت بالایی برخوردارند. این فرآیندها نه تنها اطمینان از کیفیت و ایمنی محصولات را به همراه دارند، بلکه به تولیدکنندگان کمک می‌کنند تا محصولات خود را به بهترین نحو ارائه دهند. همچنین، رعایت این استانداردها نیاز به نوآوری و تحقیقاتی پیوسته در صنعت تخمیر را ایجاب می‌کند، تا نتایج مثبت به دست آمده از تخمیر به مصرف‌کنندگان منتقل شود (۹۵).

آمین‌های بیوژن از طریق فرآیند تخمیر و فعالیت میکروبی در مواد غذایی تولید می‌شوند. به دلیل خطرات بهداشتی، مقادیر قابل قبول این ترکیبات در محصولات غذایی باید کنترل شود. سازمان‌های نظارتی مختلف، از جمله سازمان غذا و دارو (FDA) و کمیسیون اروپا، استانداردهای خاصی برای آمین‌های بیوژن در مواد غذایی تعیین کرده‌اند. به عنوان مثال، به منظور کاهش خطرات مرتبط با مسمومیت غذایی ناشی از مصرف مواد غذایی حاوی آمین‌های بیوژن، حداکثر سطح مجاز هیستامین در مواد غذایی دریایی ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (۹۶).

اتیل کاربامات (در برخی موارد به عنوان اوره نیز شناخته می‌شود) به عنوان یک ترکیب بالقوه سرطان‌زا شناخته می‌شود و در برخی از محصولات تخمیری مانند نوشیدنی‌های الکلی و انواع خاصی از پنیرها یافت می‌شود. طبق گزارشات سازمان جهانی بهداشت (WHO) و استانداردهای بین‌المللی، حداکثر مقدار مجاز اتیل کاربامات در نوشیدنی‌های الکلی باید به حداقل ۱۵۰ میکروگرم در لیتر محدود شود (۹۷). این اقدام به منظور جلوگیری از خطرات سلامتی ناشی از مصرف بلندمدت و مکرر این ترکیب شیمیایی صورت می‌گیرد. به منظور اطمینان از ایمنی و کیفیت محصولات تخمیری، استانداردهای مشخصی برای آمین‌های بیوژن و اتیل کاربامات لازم است. رعایت این استانداردها نه تنها باعث افزایش اعتماد مصرف‌کنندگان به محصولات غذایی می‌شود، بلکه سلامت عمومی را نیز حفظ می‌کند. تحقیق و توسعه در زمینه کنترل این ترکیبات شیمیایی باید ادامه یابد تا اطمینان حاصل شود که محصولات تخمیری با کیفیت و ایمن به بازار عرضه می‌شوند. سازمان‌های نظارتی مانند سازمان غذا و دارو ایالات متحده (FDA)، سازمان جهانی بهداشت (WHO) و کمیسیون اروپا نقش حیاتی در حفظ ایمنی و کیفیت محصولات غذایی، به ویژه محصولات تخمیری، دارند. این سازمان‌ها به تدوین و اعمال استانداردها و دستورالعمل‌های ایمنی غذایی می‌پردازند که تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان باید از آنها پیروی کنند. آنها با انجام بررسی‌های منظم و نظارت بر تولید، تأمین‌کنندگان را ملزم می‌کنند که محصولاتشان از نظر میکروبی، شیمیایی و حسی مورد تأیید قرار گیرند. در این راستا، این سازمان‌ها همچنین اطلاعات و آموزش‌های لازم را در زمینه خطرات بهداشتی ناشی از مصرف مواد غذایی غیراستاندارد و روش‌های پیشگیری از مسمومیت‌های غذایی ارائه می‌دهند. توجه به این سازمان‌های نظارتی برای حفظ سلامت عمومی بسیار مهم است. با افزایش مصرف محصولات تخمیری در سرتاسر جهان و پیشرفت‌های سریع در فناوری‌های تولید، ضرورت مراقبت و نظارت مؤثر بر

ایمنی این محصولات هر روز بیشتر احساس می‌شود. عدم رعایت استانداردهای تعیین شده می‌تواند منجر به بروز مشکلات جدی بهداشتی، مانند مسمومیت غذایی ناشی از آمین‌های بیوژن یا اتیل کاربامات، و کاهش اعتماد عمومی به صنعت غذا شود. به این ترتیب، این سازمان‌ها به عنوان نهادهای نظارتی خطرات احتمالی را شناسایی کرده و با تأسیس و به‌روزرسانی استانداردها، سلامت مصرف‌کنندگان را تضمین می‌کنند.

سیاست‌ها و دستورالعمل‌ها در زمینه ایمنی غذایی به عنوان چارچوبی برای تولید و توزیع غذا در سطح جهانی عمل می‌کنند. این سیاست‌ها معمولاً شامل تعیین استانداردهایی برای مدیریت خطرات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی در مراحل مختلف زنجیره تأمین غذایی هستند. سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان جهانی بهداشت (WHO) و سازمان غذا و کشاورزی (FAO) به ترویج اصول ایمنی غذایی و تدوین خط‌مشی‌های جهانی پرداخته‌اند. به عنوان مثال، WHO در سال ۲۰۱۵، استراتژی جهانی ایمنی غذایی را معرفی کرد که هدف آن تقویت سیستم‌های ایمنی غذایی در کشورهای مختلف و کاهش موارد بیماری‌های ناشی از غذا است (۹۸).

دستورالعمل‌های ایمنی غذایی از سوی سازمان‌های نظارتی، مثل FDA و کمیسیون اروپا، به تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان غذا ارائه می‌شود. این دستورالعمل‌ها شامل الزامات مرتبط با بهداشت شخصی، مدیریت بهداشت محیط، و فرآیندهای تولید و بسته‌بندی می‌باشد. به عنوان نمونه، دستورالعمل‌های FDA در زمینه بهداشت مواد غذایی به مشخص کردن استانداردهای حداکثری برای آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی کمک می‌کند و تولیدکنندگان را ملزم می‌کند تا پروتکل‌های دقیقی را برای تضمین ایمنی محصولات خود در نظر بگیرند (۹۹). همچنین، کمیسیون اروپا به بررسی و تصویب قوانین مربوط به ایمنی غذایی در کشورهای عضو پرداخته که بر اساس آن، محصولات غذایی باید به استانداردهای مشخصی درباره کیفیت و ایمنی پایبند باشند. به‌کارگیری این سیاست‌ها و دستورالعمل‌ها نه تنها به بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی کمک می‌کند، بلکه اعتماد مصرف‌کنندگان به صنعت غذا را نیز افزایش می‌دهد. اثرات مثبت این سیاست‌ها شامل کاهش بروز بیماری‌های ناشی از غذا، حفاظت از سلامت عمومی، و افزایش رضایت مشتریان می‌باشد. همچنان، این سیاست‌ها می‌توانند به تولیدکنندگان کمک کنند تا با ارتقاء ایمنی محصولات خود، به رقابت بیشتر در بازارهای جهانی دست یابند و از هزینه‌های مالی ناشی از مسمومیت‌های غذایی و آلودگی جلوگیری کنند.

جمع‌بندی و پیشنهادات

اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن از جمله ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در محصولات تخمیری ایجاد می‌شوند و می‌توانند خطرات جدی برای سلامت انسان به همراه داشته باشند. اتیل کاربامات به عنوان یک ماده بالقوه سرطان‌زا شناخته می‌شود و ممکن است بر روی سیستم عصبی تأثیر منفی بگذارد. از سوی دیگر، آمین‌های بیوژن می‌توانند موجب واکنش‌های آلرژیک و افزایش فشار خون در برخی افراد شوند. با توجه به این خطرات، نظارت دقیق بر سطح این ترکیبات در مواد غذایی، به ویژه در صنایع تولید مشروبات الکلی و سایر محصولات تخمیری، ضروری است تا ایمنی مصرف‌کنندگان تضمین شود. توجه به استانداردهای بهداشتی و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، می‌تواند به کاهش این خطرات و حفاظت از سلامت عمومی کمک نماید. از آنجا که

محصولات تخمیری بخش مهمی از رژیم غذایی بسیاری از افراد را تشکیل می‌دهند، شناخت و مدیریت خطرات ناشی از ترکیباتی مانند اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن اهمیت فراوانی دارد. این ترکیبات در صورت عدم کنترل می‌توانند به میزان قابل توجهی در مواد غذایی تجمع یابند، بنابراین اتخاذ تدابیر لازم در فرآیند تولید، از جمله بهینه‌سازی شرایط تخمیر و ذخیره‌سازی، به کاهش تشکیل این ترکیبات مضر کمک می‌کند. همچنین، آموزش مصرف‌کنندگان در مورد خطرات احتمالی و روش‌های انتخاب محصولات ایمن می‌تواند به کاهش بروز مشکلات سلامتی مرتبط با مصرف این محصولات تخمیری کمک کند. به این ترتیب، با افزایش آگاهی و اقدامات پیشگیرانه، می‌توان ایمنی غذایی را ارتقاء بخشید و خطرات بهداشتی ناشی از این ترکیبات را به حداقل رساند. برای کاهش خطرات ناشی از ترکیبات مضر مانند اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن در محصولات تخمیری، اولین گام، ارتقاء آگاهی و آموزش تولیدکنندگان و کارکنان صنایع غذایی درباره روش‌های بهینه تولید و کنترل کیفیت است. برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های عملی می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا از جدیدترین تکنیک‌ها و استانداردهای بهداشتی مطلع شوند. همچنین، به کارگیری سیستم‌های مدیریت کیفیت مانند HACCP (تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی) می‌تواند به شناسایی و کنترل نقاط بحرانی در فرآیند تولید کمک کند. این اقدام‌ها به کاهش آلودگی و تجمع این ترکیبات در محصولات نهایی منجر می‌شود. در نهایت، نظارت و کنترل مستمر بر روی محصولات تخمیری اهمیت ویژه‌ای دارد. آزمایش‌های منظم بر روی نمونه‌های محصولات برای شناسایی و اندازه‌گیری سطوح اتیل کاربامات و آمین‌های بیوژن می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا از رعایت استانداردهای دقیق اطمینان حاصل کنند. همچنین، تدوین و اجرای قوانین و مقررات سختگیرانه توسط نهادهای دولتی و سازمان‌های بهداشتی می‌تواند به ایجاد یک چارچوب قانونی کمک کند که در آن تولیدکنندگان ملزم به پایبندی به استانداردهای ایمنی و کیفیت باشند. با این اقدامات، مصرف‌کنندگان می‌توانند با اطمینان بیشتری از محصولات تخمیری استفاده کنند و سلامت عمومی ارتقاء یابد.

مراجع

1. Mäkelä, J., Peso, J., & Kallio, H. (2021). Fermented Foods: A Review of the Health Benefits and Potential Risks. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1030. DOI: 10.3389/fmicb.2021.01030
2. Leroi, F. (2020). Fermented Foods and Their Impact on Health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(11), 4315-4326. DOI: 10.1002/jsfa.10792
3. Bover-Cid, S., & Hofle, M. G. (1999). Significance of biogenic amines in fermented foods. *Food Control*, 10(1), 21-24. DOI: 10.1016/S0956-7135(98)00059-1
4. Bover-Cid, S., Ruiz-Capillas, C., & Veciana-Nogués, T. (2010). Biogenic amines in fermented foods: Composition, contamination factors and health implications. *Review of Food Science and Nutrition*, 50(4), 351-358. DOI: 10.1080/10408390902798526
5. IARC (International Agency for Research on Cancer). (2016). 1,3-Dichloro-2-propanol, Ethyl carbamate and Some N-nitroso Compounds. In *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* (Vol. 108). IARC.

6. Wang, Y., Wu, D., & Li, Y. (2022). Occurrence, formation mechanisms and prevention strategies of ethyl carbamate in fermented foods and beverages: A review. *Food Control*, 140, 109086. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109086
7. Kim, H. J., Kim, J. H., & Kim, W. (2017). Health benefits and potential risks of fermented foods: A review. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 159-165. DOI: 10.9720/KFST.2017.49.2.159
8. Liu, R. H. (2019). Health Benefits of Fruits and Vegetables Are from Additive and Synergistic Combinations of Phytochemicals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 98(3), 653S-659S.
9. Boulton, C., & Quain, D. (2013). *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Wiley-Blackwell.
10. Liu, R. H., & Dufresne, C. (2020). Ethanol fermentation from plant biomass: A review of recent research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109783
11. Hayek, S. (2021). Health Benefits of Fermented Foods and their Role in Maintaining Gut Health. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 11, 01-05.
12. O'Sullivan, M. G., O'Callaghan, T. F., & O'Riordan, N. (2021). Fermented Foods and Health: A Review on Probiotics and the Gut Microbiome. *Journal of Applied Microbiology*, 131(6), 1968-1982. <https://doi.org/10.1111/jam.15025>
13. Mishra, A. K., Tripathi, A., & Kumar, R. (2020). Biogas from Organic Waste: A Review of Anaerobic Digestion. *Renewable Energy*, 159, 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.011>
14. Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., & Cogan, T. M. (2017). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6491-6>
15. Yörük, M. (2012). Kefir: A gift from the Caucasus. *Food Chemistry*, 135(2), 1186-1194
16. Hutkins, R. (2006). *Microbiology of Fermented Foods*. Springer
17. Klein, G., R. B. Schenk, V. M. C. H. Ramos, & C. M. V. de Oliveira (2020). Fermented vegetables: A review on products and their health benefits. *Food Research International*, 137, 109558. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109558>
18. Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2007). *Baker's Technology*. Woodhead Publishin
19. Boulton, C., & Quain, D. (2013). *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Wiley-Blackwell
20. Liu, R. H., Yu, Y., & Yu, Y. (2020). Ethanol fermentation from plant biomass: A review of recent research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109783. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783>
21. Burch, J., Burch, A., & Cummings, T. (2014). The Evolution of Fermented Fish Products: Health Aspects and Opportunities. *Journal of Food Science*, 79(7), R1280-R1287
22. Mügge, C., Norrung, B., & Ole M. et al. (2013). Microbiological safety of fermented meat products: A review. *Food Control*, 29(2), 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.002>
23. Tamaki, H., Matsuda, K., Kato, Y., & Kudo, T. (2020). Fermentation technology of *Aspergillus oryzae* in sake making. *Food Science and Biotechnology*, 29(4), 551-559. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00714-2>

24. Liu, Y., Liao, C., Liu, M., & Chen, J. (2017). The application of probiotics in meat fermentation. *Food Control*, 76, 243-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.032>
25. Zheng, J., Zhu, Y., & Li, M. (2021). Probiotics from *Bacillus subtilis*: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(10), 5631-5649. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2170>
26. Hwan, K. H., & Jeong, S. (2018). The role of *Lactobacillus sakei* in fermented products. *Food Control*, 86, 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.049>
27. Gil, J. V., Pina, C., & Tino, J. (2010). Characterization and probiotic potential of *Lactobacillus plantarum*: A review. *Food Research International*, 43(5), 1288-1297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.03.004>
28. Schumacher, J., Schmitt, A., & Gänzle, M. G. (2017). The impact of yeast species on the sensory properties of sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology*, 261, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.07.008>
29. Hosseini, S. V., & Hamzeh, A. (2013). Efficacy of biogenic amines in evaluating the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) during ice storage. *Journal of Fisheries Science*, 2(4), 11-21. <https://doi.org/20.1001.1.23225513.1392.2.4.2.2>
30. Schwartz, M. J., & Salin, G. (2017). Dietary Histamine and the Role of Bacteria in Its Formation. *Trends in Microbiology*, 25(10), 817-831. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.05.002>
31. Montalvo, J., Vázquez, C., & Morales, G. (2020). Probiotic Effect of Fermented Milk Containing Lactic Acid Bacteria on Membrane Lipid Peroxidation. *Nutrients*, 12(8), 2410. <https://doi.org/10.3390/nu12082410>
32. Fuchs, J. N., Bøhn, S. K., & Mørk, M. (2020). Histamine and Food Safety: A Review on the Risk of Histamine Poisoning. *Foods*, 9(11), 1548. <https://doi.org/10.3390/foods9111548>
33. Yoo, H., Kwon, B. M., & Lee, H. J. (2018). Importance of Fermented Foods in the Impact of Gut Microbiota on Health: A Review. *Journal of Functional Foods*, 41, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.013>
34. Visciano, P., Schirone, M. Update on Biogenic Amines in Fermented and Non-Fermented Beverages. *Foods* 2022, 11, 353. <https://doi.org/10.3390/foods11030353>
35. Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic fermentation of sourdoughs: Biochemistry and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 223-232. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.01.008>
36. Royalty, R. M. V., Da Silva, G. I. A. A. L., & Dariva, C. M. F. (2022). Biogenic Amines in Fermented Foods: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1623-1643. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1967958>
37. Schmidt, K., Corsetti, A., & Miguel, M. (2018). Biogenic amines in food—Current legal regulations and future perspectives in the EU. *Food Research International*, 114, 476-485. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.005>
38. Rahman, A. T. M. M. R., Khan, M. A. H., & Ahsan, J. H. Y. (2021). Biogenic Amines in Fermented Foods: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 477-501. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12737>

39. Fenton, H., & O'Connell, S. (2016). Transamination in microbe-derived biogenic amines: A new perspective. *Microbial Biotechnology*, 9(2), 259-271. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12337>
40. Mäde, D., Schillinger, U., & D. M. H. (2021). Biogenic amine production by lactic acid bacteria isolated from fermented food: A review. *Food Microbiology*, 97, 103744. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103744>
41. Ravel, C., & Vassal, L. (2021). Transamination and the role of biogenic amines in microbial and plant systems: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 2054-2070. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1760804>
42. Zhang, C., Zhang, H., & Liu, J. (2020). The gut microbiome and its roles in metabolic diseases and food response. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(6), 473-486. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0279-0>
43. Bäuml, A. J., & Sperandio, V. (2016). Interactions between the microbiota and the intestinal epithelium: the influence of diet on the gut microbiome and health. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 13(11), 679-688. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2016.117>
44. Tena, M. T., Ruíz, R., & C. S. (2021). The role of oxidative stress in biogenic amine-induced toxicity. *Food Science & Nutrition*, 9(1), 477-488. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1964>
45. Pérez, S. A., & Rivas, D. (2021). Biogenic amines in health and disease: An overview of their impact and potential therapeutic uses. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 92, 108611. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108611>
46. Rahman, K. A. G. M. M., Ahammed, M. S., & Rahman, M. S. (2020). High-Performance Liquid Chromatography (HPLC): A Review in Biomedical Applications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 109(1), 765-775. DOI: 10.1016/j.jps.2019.09.013.
47. Taleghani, D. M. S. I., Mohammadi, M., & Naghavi, M. R. (2019). Determination of Biogenic Amines in Food Products by HPLC. *Food Control*, 100, 39-45. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.01.049
48. Gu, L., Wang, S., & Li, J. (2020). A comprehensive review of gas chromatography-mass spectrometry: Applications for food analysis. *Food Chemistry*, 311, 125847.
49. Ravikumar, R. M., Nagarajan, S., & Narayanan, M. K. (2019). Quantitative analysis of biogenic amines in foods: A review on derivatization methods, challenges, and future perspectives. *Journal of Food Science*, 84(12), 3801-3810.
50. Bai, Y., Zhang, X., & Wu, J. (2021). Optimization of gas chromatography for analysis of biogenic amines and challenges in food safety. *Analytical Methods*, 13(24), 2900-2912
51. López-Caballero, M. É., & López-Hernández, J. (2020). Determination of biogenic amines in fish: Comparison of gas chromatography and high-performance liquid chromatography. *Food Control*, 112, 107224. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107224
52. Cai, Y., Zhang, L., & Chen, J. (2022). Application of mass spectrometry in the analysis of biogenic amines in food: A review. *Food Chemistry*, 375, 131774. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131774.

53. Zhang, Y., Xu, J., & Wang, Y. (2021). Ultra-high-performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry for determination of biogenic amines in food products: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116392. DOI: 10.1016/j.trac.2021.116392
54. Huang, X., Fan, X., & Liu, S. (2023). Advances in mass spectrometry for the analysis of biogenic amines: Methods, challenges, and applications. *Mass Spectrometry Reviews*, 42(2), e22016. DOI: 10.1002/mas.22016
55. Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2022). Advances in the analysis of biogenic amines by liquid chromatography coupled to mass spectrometry: New strategies and food applications. *Molecules*, 27(6), 1706. DOI: 10.3390/molecules27061706
56. Kumar, S., Gupta, P., & Bahadur, I. (2021). Insights into the biogenic amines: Their impact on food quality and human health: A review. *Journal of Food Science*, 86(4), 1600-1610. DOI: 10.1111/1750-3841.15682.
57. Matzneller, P., Bertucci, F., & Bansal, S. (2020). Application of NMR spectroscopy for the analysis of biogenic amines in food and health-related samples. *Food Research International*, 137, 109336. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109336.
58. Griffin, J. L. (2018). Advances in NMR-based metabolomics for food science applications. *Current Opinion in Food Science*, 19, 1-6. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.03.002.
59. Keller, R., & Rüedi, P. (2020). Application of NMR spectroscopy for the characterization of biogenic amines in fermented foods. *Food Biochemistry*, 44(4), e13258. DOI: 10.1111/fob.13258.
60. Sullivan, B., & Sweeney, D. (2021). Biogenic amines in food: Origins and effects on health. *Food Control*, 123, 107900. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.107900.
61. Duncan, L. E., & Kelly, S. M. (2019). The role of dietary histamine and biogenic amines in health and disease. *Frontiers in Nutrition*, 6, 43. DOI: 10.3389/fnut.2019.00043.
62. Vinales, E., & De La Torre, A. (2022). Management of biogenic amines in food: The potential role of consumers. *Foods*, 11(4), 588. DOI: 10.3390/foods11040588.
63. Careri, M., & Coccia, A. (2020). Biogenic amines in foods: Health implications and advances in analytical methods. *Food Chemistry*, 309, 125683. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125683.
64. Bhanja, S., & Patra, J. K. (2021). "Ethyl Carbamate: A toxicological review on its health effects and regulation." *Food Science and Human Wellness*, 10(1), 22-31. [DOI:10.1016/j.fshw.2020.09.002](https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.09.002)
65. Yamamoto, S., & Nishida, K. (2020). "Emerging concerns on ethyl carbamate in fermented foods and beverages." *Journal of Food Protection*, 83(11), 1839-1845. [DOI:10.4315/JFP-20-166](https://doi.org/10.4315/JFP-20-166)
66. Rahman, M. M., & Kader, M. F. (2023). "Investigating the formation mechanisms of ethyl carbamate in food fermentation." *Food Chemistry*, 385, 132721. [DOI:10.1016/j.foodchem.2022.132721](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132721)
67. Ahn, J. (2006). "Ethyl carbamate in food and beverages." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), 9476-9482. [DOI:10.1021/jf062156z](https://doi.org/10.1021/jf062156z).

68. Zhou, L., Ma, H., Xu, Z., & Zhang, X. (2022). "Control strategies for minimizing the formation of ethyl carbamate in fermented beverages." *Food Quality and Safety*, 6(4), 291-300. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac018.
69. Fujisawa, T., & Yamamoto, S. (2019). "Formation of ethyl carbamate in fermented foods: Mechanisms and control." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 854-870. [DOI:10.1111/1541-4337.12447](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12447).
70. Yamamoto, S., & Nishida, K. (2020). "Emerging concerns on ethyl carbamate in fermented foods and beverages." *Journal of Food Protection*, 83(11), 1839-1845. [DOI:10.4315/JFP-20-166](https://doi.org/10.4315/JFP-20-166).
71. Rahman, M. M., & Kader, M. F. (2023). "Investigating the formation mechanisms of ethyl carbamate in food fermentation." *Food Chemistry*, 385, 132721. [DOI:10.1016/j.foodchem.2022.132721](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132721).
72. Watanabe, S., Yoshida, M., & Kato, H. (2012). "Development of a sensitive method for the detection of ethyl carbamate in alcoholic beverages." *Food Chemistry*, 130(2), 455-461. [DOI:10.1016/j.foodchem.2011.07.113](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.113).
73. Lee, J., & Kim, M. (2019). "Determination of ethyl carbamate in alcoholic beverages using HPLC." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(3), 893-899. [DOI:10.1021/acs.jafc.8b05523](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05523).
74. Huang, Y., Wang, X., & Liu, F. (2021). "Spectrophotometric determination of ethyl carbamate in beverages." *Analytical Sciences*, 37(5), 621-626. [DOI:10.2116/analsci.37.621](https://doi.org/10.2116/analsci.37.621).
75. Gonzalez, M., Morales, M. A., & Martinez, C. (2020). "Electrochemical detection of ethyl carbamate in food samples." *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 857, 113790. [DOI:10.1016/j.jelechem.2019.113790](https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.113790).
76. International Agency for Research on Cancer (IARC). (2018). Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking-water. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 101. Lyon: IARC Press.
77. Boffetta, P., FitzGerald, G., & McHugh, M. G. (2010). "Cancer risk associated with exposure to ethyl carbamate." *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 52(2), 207-214. doi: [10.1097/JOM.0b013e3181cfc3de](https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181cfc3de).
78. Vichovska, M., Janoska, P., & Miskovsky, P. (2020). "Ethyl carbamate in fermented beverages." *Food Chemistry*, 319, 126588. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126588.
79. World Health Organization (WHO). (2021). Food additives and contaminants. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/food-additives-and-contaminants> (Accessed: 01 January 2025).
80. Shih, T., Wong, S. H., Lee, C. H., Chiu, C. Y., & Li, M. H. (2019). "Ethyl carbamate induces tumors in the liver and kidney of male and female B6C3F1 mice." *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 60(5), 474-483. doi: [10.1002/em.22307](https://doi.org/10.1002/em.22307).

81. Fang, S., Zhang, H., & You, Y. (2021). "Study on liver injury in rats induced by ethyl carbamate: a focus on oxidative stress and apoptosis." *Food and Chemical Toxicology*, 152, 112193. doi:10.1016/j.fct.2021.112193.
82. World Health Organization (WHO). (2021). Food additives: Ethyl carbamate. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/food-additives-and-contaminants>.
83. Béréziat, G., Thonart, P., & Dufossé, L. (2020). "Biogenic amines in fermented foods: implications for consumer health." *Food Control*, 111, 107078. doi:10.1016/j.foodcont.2019.107078
84. Varga, E., Szijártó, M., & Szalontai, B. (2018). "Ethyl carbamate in fermented beverages: sources and regulatory limits." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1801-1819. doi:10.1080/10408398.2017.1333279
85. Jiang, L., Zhang, X., & Xue, Q. (2021). "The influence of microflora on biogenic amines in fermented foods: a review." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5714-5735. doi:10.1111/1541-4337.12746
86. Chen, X., Tsao, R., & Yang, X. (2019). "Understanding the role of microbiota in the fermentation process and their impact on food safety." *Food Microbiology*, 82, 202-213. doi:10.1016/j.fm.2019.07.016
87. Hernández-Jover, M., Vázquez, M., Bermejo, M., & Martínez-Rodríguez, A. J. (2019). Impact of fermentation conditions on the formation of biogenic amines in fermented foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 306, 108277. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108277.
88. Kouadio, J. H., Savadogo, A., & Diop, A. H. (2020). Microbial biogenic amines: How they can compromise food safety and methods to reduce their presence. *Food Control*, 114, 107257. doi:10.1016/j.foodcont.2020.107257.
89. Bardócz, S., & Spencer, J. P. E. (2021). Biogenic amines in food: Implications for health. *Food Chemistry*, 347, 128884. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128884.
90. D'Mello, J. P. F. (2019). Food Safety: A Food Industry Perspective. In: *Food Safety: A Global Perspective* (pp. 1-25). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-814707-3.00001-5.
91. World Health Organization (WHO). (2021). "Food safety and quality standards". Retrieved from [https://www.who.int/health-topics/food-safety#tab=tab_1](https://www.who.int/health-topics/food-safety#tab=tab_1)
92. Wilkins, M. J., Newell, I., & Ravesi, P. (2020). "Molecular techniques for the identification of foodborne pathogens". *Food Control*, 113, 107132. doi: [10.1016/j.foodcont.2020.107132](<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107132>)
93. Bokulich, N. A., Bamforth, C. W., & Acheson, K. (2016). "Trends in microbial contamination of fermented foods". *International Journal of Food Microbiology*, 236, 11-19. doi: [10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.003](<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.003>)
94. Klosgen, B., Danner, B., & Hölzle, E. (2018). "Assessment of sensory quality in fermented dairy products". *Food Quality and Preference*, 68, 172-180. doi: [10.1016/j.foodqual.2018.02.001](<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.001>)

95. Doni, A., Rizzo, A., & Siciliano, S. (2019). "Fermented Foods: Research and Development Trends". Journal of Food Quality, 2019. doi: [10.1155/2019/3981724](https://www.hindawi.com/journals/jfq/2019/3981724/)
96. FDA. (2020). Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. 4th Edition. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from https://www.fda.gov/media/144821/download
97. World Health Organization (WHO). (2019). Ethyl carbamate in alcoholic beverages: A review of epidemiological studies. WHO Technical Report Series, No. 1018. Retrieved from https://www.who.int/publications/i/item/9789241565342 (<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565342>)
98. WHO. (2015). "Global Strategy for Food Safety". World Health Organization. Retrieved from https://www.who.int/publications/i/item/global-strategy-for-food-safety
99. FDA. (2020). Food Safety Modernization Act (FSMA). U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma

The Risk of Biogenic Amines and Ethyl Carbamate in Fermented Food and Beverage Products

Abstract

Fermented products, especially due to their probiotics, contribute to enhancing gastrointestinal health by boosting the immune system, increasing nutrient absorption, and reducing inflammation, as they promote the growth of beneficial bacteria in the gut. Additionally, their unique and tangy flavor adds diversity and appeal to foods. Biogenic amines and ethyl carbamate are among the chemical compounds that are naturally formed during the fermentation processes of food and beverages. Biogenic amines, such as histamine, tyramine, putrescine, and cadaverine, are metabolites produced from the activity of microorganisms on amino acids. While these compounds are naturally degraded in small amounts in the body, at high concentrations, they can have adverse effects on consumer health. Reported side effects include headaches, gastrointestinal issues, increased blood pressure, and, in some cases, allergic reactions.

Due to the diverse nature of these fermentation processes, factors such as temperature, time, and the type of microorganisms also affect the formation of these compounds. For instance, lactic acid bacteria and yeasts can play a role in generating varying concentrations of biogenic amines and ethyl carbamate. Meanwhile, the type of raw material can significantly impact the production of these compounds. Ethyl carbamate (EC), which arises from the reaction between ethanol and carbamyl compounds during fermentation or storage, is recognized as a significant health risk due to its potential carcinogenic properties. The formation of these compounds depends on several factors, including the type of raw material, the type of fermenting microorganisms (such as lactic acid bacteria or yeasts), environmental conditions (such as temperature and pH), and time. Fermented foods and beverages—including wine, beer, cheese, fermented meat products, and soy sauce—generate the highest levels of these compounds, creating significant concerns for food safety and public health. Histamine and tyramine, as the most common biogenic amines, pose the greatest risk to sensitive groups like patients with metabolic disorders, hypertension, or liver issues. Ethyl carbamate is also one of the most critical regulatory challenges in the food industry due to its identification as a carcinogen by health agencies such as the IARC (International

Agency for Research on Cancer). In response to these concerns, global efforts have been made to identify, control, and reduce these compounds throughout the food and beverage production processes. These efforts include using advanced technologies to monitor the levels of these compounds, optimizing fermentation processes, utilizing microbial strains that produce lower amounts of biogenic amines, and implementing post-fermentation purification techniques. Additionally, developing regulatory standards to limit permissible levels of biogenic amines and ethyl carbamate in food products plays an essential role in minimizing health risks. This article provides a review of the factors affecting the formation of biogenic amines and ethyl carbamate, methods of identification and monitoring, and the associated risks of these compounds in fermented foods and beverages. Moreover, recent advancements in developing new technologies and preventive interventions are evaluated, and challenges and research opportunities for improving public health and ensuring food safety in the future are presented.

Keywords: Fermentation, Biogenic Amines, Ethyl Carbamate, Food Safety, Public Health