مروری براستفاده از صمغ‌ها در تولید نانوکپسول‌های بر پایه بیوپلیمر در تولید محصولات لبنی

A review on the use of gums in the production of biopolymer-based nano capsules in the production of dairy products

علیرضا سعیدگوهری[۱]، لیلا ناطقی[۲*]، لادن رشیدی[۳*]، شیلا برنجی[۲]

دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۰

چکیده

امروزه تولید و مصرف غذاهای فراسودمند در جهان رو به افزایش است. این افزایش ناشی از اثرات سلامتی‌بخش این موادغذایی است که می‌توانند در حفظ و ارتقاء وضعیت مطلوب جسمی و روحی انسان کمک‌کننده باشند. محصولات فراسودمند لبنی سهم مهمی از این بازار را تشکیل می‌دهد. این محصولات علاوه بر اثر سلامتی‌بخش ذاتی، در تامین بعضی از مهمترین موادمغذی مورد نیاز بدن مانند کلسیم، پروتئین و ریبوفلاوین، می‌توانند به عنوان حامل مواد فراویژه و مغذی، در غذاهای غنی شده نیز به کار روند. ریزپوشانی فرایندی است که در آن مواد زیست‌فعال و فراویژه در یک سیستم دیواره‌ای به دام افتاده و در مقابل شرایط نامساعد محیطی محافظت می‌شود. به همین دلیل درحال‌حاضر استفاده از آن در تولید مواد فراسودمند به طور فزاینده‌ای درحال افزایش است. یکی از روش‌های ریزپوشانی استفاده از نانوکپسول‌های بر پایه بیوپلیمر با استفاده از پروتئین و پلی ساکاریدهاست. صمغ‌ها پلی ساکاریدهایی با وزن مولکولی بالا و پلیمرهای هیدروفیل هستند که به شکل ترشحات درختان و بوته‌ها، عصاره گیاهان و جلبک‌های دریایی، آرد دانه‌ها، موسیلاژ بذرها، لعاب‌های چسبناک حاصل از فرآیندهای تخمیر و بسیاری از فرآورده‌های طبیعی دیگر یافت می‌شوند و دارای کاربرد زیادی از جمله افزایش ویسکوزیته، اصلاح بافت، کنترل کریستالیزاسیون، جلوگیری از سینرسیس، تولید فیلم و غیره در صنعت غذا می باشند. یکی از کاربردهای نسبتاً جدید آنها تولید نانوکمپلکس‌های زیستی است که در آن از یک پروتئین جهت ایجاد کمپلکس و تشکیل نانوکپسول استفاده می شود.

کلمات کلیدی: ریز پوشانی، صمغ، فراسودمند، نانوکمپلکس، نانوکپسول

مقدمه

غذا و رژیم غذایی نقش کلیدی در پیشگیری از بیماری دارند و تغذیه به عنوان یک عامل مهم قابل تغییر در سلامت انسان شناخته شده است. در حالی که مصرف بیش از حد غذاهای پرانرژی منجر به دریافت انرژی بالا و افزایش بروز چاقی و یک سری بیماری‌های غیرواگیر می‌شود، جمعیت‌های خاصی هنوز در معرض خطر کمبود مواد مغذی هستند. غذاها منبعی از مواد مغذی برای بدن انسان هستند، اما همچنین می توانند عملکردهایی فراتر از اثرات تغذیه ای در جهت افزایش سطح سلامتی برای بدن نیز داشته باشند. در سالهای اخیر نیز به طور فزایندهای این عقیده که موادغذایی دارای اثرات ارتقای سلامتی هستند، توسط مجامع بین المللی پذیرفته شده است. در همین راستا و با توجه به تأثیرات خاص پیشگیری‌کننده مواد مغذی و مواد فراویژه و فیتوکمیکال‌ها بر بیماریهای گوناگون، غذاهای فراسودمند کشف و تولید آنها شروع شده است (Pravst *et al*, 2018).

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

[۲*] گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

[۳*] گروه محصولات غذایی و کشاورزی، پژوهشکده صنایع غذایی و فراورده‌های کشاورزی، انستیتوی پژوهشی استاندارد، کرج، ایران

***ایمیل نویسندگان مسئول:** Leylanateghi@yahoo.com، ladan_rsh@yahoo.com

بحث در مورد غذای فراسودمند در اواخر دهه ۱۹۸۰ در ژاپن آغاز شد و توسعه آن بعداً در ایالات متحده آمریکا، از سال ۱۹۹۰تحت تأثیر مقررات مربوط به استفاده از ادعاهای بهداشتی در غذاها قرار گرفت غذاهای فراسودمند، غذاهایی هستند که علاوه بر ارزش تغذیه‌ای دارای اثرات سلامت‌بخش برای مصرف‌کننده بوده و می‌توانند به حفظ وضعیت مطلوب جسمی، روحی و روانی انسان‌ها کمک کنند. این غذاها را هم می‌توان در رژیم‌های غذایی معمول یافت و هم می‌توانند با افزودن مواد مغذی و فراویژه در قالب غنی‌سازی تولید شوند. این محصولات همچنین دارای توانایی بهبود سلامت و یا کاهش خطر بیماری‌ها نیز می‌باشند. به عبارت دیگر غذای فراسودمند به غذای غنی از مواد مغذی و فراویژه‌ای گفته می‌شوند، که یا از پیش در آن موجود هستند مانند فیتوکمیکال‌های موجود در میوه‌جات و یا به عنوان مکمل به آن غذا افزوده می‌شوند مانند غنی سازی روغن با ویتامین‌های محلول در چربی. از طرفی می‌توان آنها را به عنوان" غذاهایی که از نظر کارایی، تغذیه، راحتی و جنبه‌های درمانی مطابق با نیازهای خاص ساخته شده‌اند "معرفی کرد (Patricio *et al*, 2019).

مطالعات اپیدمیولوژیک و آزمایشات بالینی تصادفی که در مناطق مختلف جهان انجام شده، اثبات کرده و یا حداقل پیشنهاد نموده‌اند که اثرات بیشماری در مورد سلامتی مربوط به مصرف غذای فراسودمند وجود دارد .به عنوان مثال کاهش خطر سرطان، بهبود سلامت قلب، افزایش عملکرد سیستم ایمنی بدن، بهبود سلامت دستگاه گوارش، اثرات ضد التهابی، کاهش فشارخون، فعالیتهای ضدباکتری و ضدویروسی، کاهش پوکی استخوان و غیره را می‌توان نام برد (Morales *et al*, 2021).

محصولات فراسودمند لبنی، سهم عمده‌ای از بازار غذاهای فراسودمند را تشکیل می‌دهند که به نوبه خود دارای رشد چشمگیری است. بسیاری از محصولات لبنی مثل شیر و ماست را می‌توان به عنوان غذاهای فراسودمندی در نظر گرفت که علاوه بر اثرات سلامت‌بخش دارای ارزش تغذیه‌ای نیز می‌باشند. به عنوان مثال، تقریبا ۷۵-۶۰ درصد کلسیم مورد نیاز روزانه در رژیم غذایی غربی‌ها از محصولات لبنی تامین می‌شود. این ماده معدنی در پیش‌گیری از پوکی استخوان اثر بارزی دارد. شیر، ماست، نوشیدنی-های تخمیری، آغوز بطور بالقوه جزء غذاهای فراسودمند به شمار می‌آیند. شیر عمده‌ترین تامین‌کننده مواد مغذی برای بدن است که از این جمله می‌توان به کلسیم، پروتئین و ریبوفلاوین اشاره کرد. علاوه بر این مشخص شده که محصولات لبنی و ترکیبات غذایی مشتق شده از شیر و آب‌پنیر به عنوان غذاهای فراسودمند، نقش مهمی در تغذیه و سلامت انسان دارند. از جمله ترکیبات فراسودمند لبنی می‌توان به کازئین، پروتئین‌های آب‌پنیر، پپتیدهای فعال زیستی، لاکتوفرین، لاکتوپراکسیداز، عوامل تشدید-کننده رشد و ترمیم زخم‌ها و اسیدهای چرب کنژوکه (CLAs) اشاره کرد (Dullius *et al*, 2018).

بعضی از مواد فراسودمند لبنیات می‌توانند طی فرآیندهای پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون کاهش چشمگیری پیدا کنند. از این جمله این مواد می‌توان از اسیدهای چرب کنژوکه نام برد که بدلیل اکسیداسیون ناشی از فرآیندهای حرارتی، سطح آنها کاهش می‌یابد. یکی از راه‌های رفع این نقیصه، غنی‌سازی شیرهای فرآوری شده با CLAs است.

۱- ریزپوشانی

ریز پوشانی فرآیندی است که طی آن، مواد زیست فعالی مانند: اسیدهای چرب امگا ۳، اسید لینولئیک کونژوگه و ... درون سیستم دیواره‌ای به دام افتاده و پوشش داده می‌شوند و در نتیجه مواد مورد نظر در مقابل شرایط نامساعد محیطی مانند نور و اکسیژن و ... محافظت شده و پایداری اکسیداتیو و ماندگاری آن افزایش می‌یابد. بطور مثال ریزپوشانی اسیدهای چرب ضروری در انواع سیستم‌های نانوحامل روشی مؤثر در بهبود کارایی بیولـوژیکی و تحـویل کنترل‌شده (در مقدار و در مکان معین) آنها است

امولسیفیه کردن، کوآسرواسیون، خشک کردن پاششی، سردکردن پاششی، خشک کردن انجمادی، پوشش دادن به روش بسترسیال، اکستروژن و ... از روشهای ریز پوشانی مواد غذایی هستند (Jafari, 2017).

نانوکپسولاسیون نوعی از ریز پوشانی است که در آن ذراتی در اندازۀ نانومتری (کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر) تولید می‌شوند. کاهش اندازۀ ذرات به زیر مقیاس نانومتری، موجب افزایش نسبت سطح به حجم و در نتیجه افزایش زیست دسترسی، پایداری فیزیکی و شفافیت می‌گردد. در میان روش‌های مختلف کپسولاسیون، یکی از محبوب‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها برای حمل مواد مغذی هیدروفوب، سیستم نانو حامل‌های بیوپلیمری است (Assadpour and Jafari, 2019). استفاده از ترکیب کربوهیدرات صمغ و پروتئین به عنوان کپسول در مطالعات زیادی گزارش شده است. این ترکیبات خصوصاً در کپسولاسیون مواد مغذی آبگریز و مواد فراویژه مورد استفاده قرار گرفته اند (Ilyasoglu *et al*, 2014).

۱-۱- نانوکپسول‌ها بر پایه بیوپلیمرها

این دسته از نانوکپسول‌ها می توانند از پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و یا کمپلکس این دو دسته با روش‌های مختلف تولید گردند. بیوپلیمرهای غذایی به ویژه پروتئین‌ها، به دلیل ارزش تغذیه ای بالا و ویژگی‌های ساختاری خاص، در این زمینه مورد توجه قرار گرفته اند. پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها باعث ایجاد پایداری و بهبود بافت در سیستم‌های غذایی می شوند و خصوصیات رئولوژیکی آنها را بهبود می‌بخشند و همچنین با استفاده از آنها می‌توان کپسول‌هایی را تولید کرد که ترکیبات مغذی را به دام انداخته و از آنها در برابر شرایط نامساعد محافظت کنند (Shishir, 2018). به این ترتیب می‌توان از پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و پلیمرهای زیستی استفاده نمود و برحسب خواص گوناگون و موارد کاربرد مختلف، آنها را انتخاب کرد. کپسول حاصل از کمپلکس دو بیوپلیمر مانند پروتئین و پلی ساکارید، علاوه بر داشتن خواص تک تک بیوپلیمرها، دارای کارایی و قدرت محافظت کنندگی بیشتری است (Saxena, 2017).

۱-۲-نانوحامل‌های حاصل از اختلاط پروتئین- پلی‌ساکارید (کمپلکس سازی)

در اثر ایجاد برهمکنش بین دو یا چند بیوپلیمر، پوشش‌های مرکب تشکیل شده که علاوه بر داشتن خواص تک تک بیوپلیمرها، خواص آن‌ها را در حالت تشکیل کمپلکس بهبود می‌بخشد. نانوحامل‌های بر پایه کمپلکس‌های پلی‌ساکاریدـپروتئین نسبت به نانوحامل‌های پروتئینی، دارای ویژگی‌های فیزیکی و حفاظتی بهتری هستند، چون حضور پلی‌ساکاریدهای آنیونی در لایه بیرونی، موجب می‌شود که به علت تولید نیروی دافعه منفی بالاتر در pHهای مختلف، پایداری سیستم بیشتر شده و از لخته شدن و بزرگ شدن اندازه ذرات و در نتیجه رسوب جلوگیری شود و همچنین ماده فعال درونی (هسته) بهتر حفاظت گردد. انواع مختلفی از پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها از جمله پروتئین‌های شیر مانند کازئینات و پلی‌ساکاریدهای آنیونی مانند پکتین، برای ساخت نانوکمپلکس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Esfahani, 2019).

۲-صمغ‌ها (هیدروکلوئیدها)

صمغ‌ها پلیمرهای زیستی با وزن ملکولی بالایی هستند که از آن‌ها به منظور افزایش قوام، تشکیل ژل، تثبیت امولسیون وکف، جلوگیری از رشد بلورهای یخ و در نهایت ایجاد ویژگیهای حسی مطلوب در محصولات غذایی استفاده می شود. حلالیت در آب قابل اعتمادترین رفتار برای انواع صمغ است. آنها درآب محلولهایی چسبناک تولید می‌کنند که کاربردهای غذایی، دارویی، صنعتی و ... دارند. کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آن‌ها بستگی دارد که این خواص در مواد غذایی تحت تاثیر ساختمان مولکولی هیدروکلوئیدها، غلظت هیدروکلوئید، واکنش هیدروکلوئید با سایر ترکیبات مواد غذایی مانند نمک‌ها، قندها،

چربی‌ها، پروتئین‌ها و همچنین شرایط فرآوری مانند دما و ... می باشند (Rajabi *et al*., 2019). خصوصیات این ترکیبات شامل موارد زیر می‌باشد (Da Silva, 2020):

۱) قبل از تخمیر و بدون هیچ نقشی در گسترش آن اضافه می‌شوند.
۲) به سادگی حل می‌شوند.
۳) ویسکوزیته را افزایش می‌دهند.
۴) موجب اصلاح و محکم‌تر شدن بافت می‌شوند.
۵) کریستالیزاسیون را کنترل می‌کنند.
۶) از فرآیند جداسازی اجزاء جلوگیری می‌کنند.
۷) موجب بهبود ظاهر، افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌شوند.
۸) از آب انداختن محصول (سینرسیس) جلوگیری می‌کنند.
۹) در پوشش دهی مواد عطری و طعمی استفاده می‌شوند.
۱۰) پایداری فیزیکی را افزایش می‌دهند.
۱۱) برای تولید فیلم استفاده می‌شوند.
۱۲) برای تولید ژل استفاده می‌شوند.
۱۳) قوام محصول را افزایش می‌دهند.
۱۴) در محصول ایجاد مزه می‌کنند.
۱۵) از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر در محصول جلوگیری می‌کنند.

امروزه هیدروکلوئیدها، به طور وسیعی در بخش‌های صنعتی استفاده می‌شوند و کارکردهایی از قبیل قوام دهندگی و ژل دهندگی محلول‌های آبی، پایدارسازی کف‌ها و امولسیون‌ها، جلوگیری از تشکیل کریستال‌های شکر و یخ و کنترل رهایش عطر و طعم دارند (Williams and Phillips, 2009). این پلیمرهای بلند زنجیر به دلیل دارا بودن توانایی بافت دهندگی و ساختمان دهی آب از زمان‌های قدیم نقش مهمی در مواد غذایی داشته‌اند. هیدروکلوئیدها به میزان ۵۰۰ – ۱۰۰ برابر وزن خود، توانایی حفظ آب دارند و حتی در مقدار خیلی کم، به دلیل دارا بودن وزن مولکولی بالا و قابلیت انعطاف محدود بین واحدهای مونومر در زنجیرهای پلیمری، باعث تغییر ویسکوزیته و ایجاد تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در خصوصیات رئولوژیکی محلول می‌شوند و میزان این تغییرات که بر مراحل مختلف تولید و نیز پایداری فیزیکی فرآورده نهایی تأثیرگذار است، به نوع و غلظت هیدروکلوئیدهای مورد استفاده بستگی دارد (Owusu-apenten, 2004).

۲-۱-ارزش تغذیه‌ای صمغ‌ها

اگر چه هیدروکلوئیدها به‌منظور کنترل ویژگی‌های رئولوژیکی و بافت در مواد غذایی به کار می‌روند، ولی ویژگی‌های تغذیه‌ای آن‌ها توجه بسیاری از مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده است. هیدروکلوئیدها جزء کربوهیدرات‌های غیر قابل دسترس در بدن می‌باشند. بدین معنی که نسبت به هیدرولیز توسط آنزیم‌های هضم کننده موجود در سیستم گوارشی بدن مقاوم می‌باشند و بدون هیچ‌گونه تغییر و تولید کالری از بدن خارج می‌شوند. از این منظر هیدروکلوئیدها جزء فیبرهای رژیمی محلول مورد نیاز در هرم غذایی انسان محسوب می‌شوند؛ بنابراین با جایگزینی چربی محصولات توسط هیدروکلوئیدها علاوه بر کاهش میزان چربی

و کاهش میزان کالری دریافتی توسط مقدار مشخصی از محصول ارزش آن از لحاظ بهبود سلامتی نیز افزایش می‌یابد. بسیاری از هیدروکلوئیدها نظیر صمغ‌های عربی، زانتان، گوار و صمغ لوبیای لوکاست و... کلسترول خون را کاهش می‌دهند. برخی از هیدروکلوئیدها نظیر صمغ عربی و اینولین، آثار پروبیوتیکی از خود نشان داده‌اند. هیدروکلوئیدها نسبت به آنزیم‌های گوارشی مقاوم بوده و از معده و روده کوچک بدون متابولیزه شدن عبور می‌نمایند و در روده بزرگ تخمیر شده و اسیدهای چرب زنجیر کوتاه تولید می‌کنند که اثرات مثبتی بر سلامت انسان دارند. همچنین هیدروکلوئیدها رشد بیفیدوباکتریها را در روده تحریک نموده و از رشد کلستریدیوم‌ها ممانعت به عمل می‌آورند (Soukoulis *et al*, 2010; Roberts, 2011; Mantzouridou, 2012).

۲-۲-ساختار صمغ‌ها

هریک از هیدروکلوئیدها ویژگی‌های ویژه‌ای دارند که ناشی از ساختار مولکولی منحصر به فرد آن‌ها می‌باشد. با وجودی که اثرات بافت دهندگی هر هیدروکلوئید متفاوت از سایر هیدروکلوئیدها است، ولی همه آن‌ها از لحاظ ساختاری، ترکیب‌های پلیمری با وزن مولکولی بالا بوده و ارتباطات و درگیری مولکول‌های آن‌هاست که موجب تشکیل حالت غلیظ و ژل‌های مطلوب می‌گردد. ژل‌های هیدروکلوئیدی از طریق پیوستن شبکه‌های کلوئیدی به یکدیگر تشکیل می‌شوند و فرآورده را به‌صورت پیوسته با مایع دارای گرانروی کم یا زیاد، نگه می‌دارند. واکنش‌های بین این شبکه کلوئیدی و محیط گرانرو، رفتار مکانیکی و پایداری ژل را مشخص نموده و ویژگی‌های ویژه آن را سبب می‌شوند. تشکیل شبکه کلوئیدی می‌تواند از طریق رشته‌های تشکیل شده از ذرات به هم پیوسته، منافذ یا قطرات و یا اجزای به هم پیچیده مواد پلیمری دارای زنجیره، ناشی شود. از آنجا که ابعاد ذرات، رشته‌ها و منافذ شبکه‌های کلوئیدی تغییر می‌کنند، بنابراین، ویژگی‌های متفاوتی را در فرآورده ایجاد می‌نمایند. فاصله پیوندهای عرضی یا فراوانی آن‌ها در طول زنجیره‌های پلیمری نیز ممکن است نقش مهمی در رابطه با ویژگی‌های مکانیکی ژل ایفا نمایند (Milani, 2012). ساختمان پلی ساکارید پیچیده غیرقابل هضم(فیبرهای غدایی) شامل چهار نوع می‌باشد (Sworn, 2000):

–خطی (سلولز)

–تک انشعابی (دکستران)

–خطی استخلاف شده (لوکاست بین و گوار)

–انشعاب روی انشعاب (آمیلوپکتین و صمغ عربی).

مولکول‌های پلی ساکارید خطی فضای بیشتری را اشغال می‌کنند و ویسکوزتر از مولکول‌های بسیار انشعابی با همان وزن مولکولی هستند. ترکیبات انشعابی آسان‌تر ژل تشکیل می‌دهند و پایدارتر هستند چون برهم‌کنش وسیع در امتداد زنجیرهای آن ممکن نیست. پلی ساکاریدهای خطی خنثی به آسانی تشکیل فیلم چسبنده روی مواد خشک می‌دهند و عوامل پوشش دهنده خوبی هستند و محلول آن چسبناک نیست. محلول‌های پلی ساکاریدی انشعابی به خاطر گیر افتادن وسیع زنجیره‌های جانبی چسبناک هستند و محلول خشک شده آن‌ها به آسانی فیلم تشکیل نمی‌دهند. برخی از هیدروکلوئیدها دارای زنجیره‌های مستقیم دراز با انشعابات کوتاه هستند. چنین ترکیباتی دارای نواحی پلی ساکاریدی خطی و انشعابی می‌باشند برای مثال صمغ دانه لوکاست بین و صمغ گوار از این نوع هستند (Sworn, 2000).

۲-۳-نحوه عمل صمغ‌ها

صمغ‌ها به دو دسته صمغ‌های آنیونی یا جاذب (پکتین، کاراگینان، کربوکسی متیل سلولز، آلژینات) و صمغ‌های خنثی یا غیرجاذب (گزانتان، گوار، صمغ خرنوب) تقسیم‌بندی می‌شوند. صمغ‌های دسته اول قادر به برهم کنش با میسل‌های کازئینی و رشته‌های پروتئینی موجود در سیستم هستند و عملکرد دسته دوم از طریق افزایش ویسکوزیته محصول از طریق جذب آب می‌باشد.

مولکول‌های صمغ‌ها قادر به تشکیل شبکه‌ای حاصل از اتصالات بین مولکولی هستند (همچنین با ترکیبات شیر نیز اتصال پیدا می‌کنند) که بدین ترتیب مولکول‌های آب در شبکه حاصله محبوس شده و موجب افزایش ظرفیت هیدراسیون ترکیبات آبدوست موجود در فرمولاسیون می‌شوند. از طرفی مولکول‌های پروتئین در این شبکه پایدار شده و در نتیجه به‌صورت مانعی در برابر حرکت آزاد آب عمل می‌کنند که حاصل آن کاهش سینرزیس خواهد بود. در محصولات لبنی مختلف بسته به نوع سیستم دیسپرسیونی موجود و با توجه به نتیجه مورد انتظار از نوع خاصی از هیدروکلوئیدها استفاده می‌شود (Lal *et al*, 2006; Syrbe and Baur, 1998). علت کاهش آب اندازی مهار شدن آب آزاد به هر دو طریق فیزیکی و شیمیائی است. بدین ترتیب که مولکول‌های پایدار کننده‌ها با افزایش چگالی شبکه، آب آزاد را به‌صورت فیزیکی محصور می‌کنند. در عین حال این مولکول‌ها هیدروکلوئید یا کلوئیدهای آب‌دوست هستند؛ بنابراین مولکول‌های آب را به خود متصل ساخته و شاخص ظرفیت اتصال آب ژل را افزایش می‌دهند.

مولکول‌های پایدار کننده یا خود ایجاد ژل می‌کنند و یا شبکه‌ای از اتصالات را بین شبکه کازئینی پدید می‌آورند. بارهای یونی در مولکول‌های پایدار کننده‌ها قادر هستند اتصالات قدرتمند یونی ایجاد کنند. در عین حال یون‌هایی همچون کلسیم و سدیم نیز می‌توانند میان این مولکول‌ها یا مولکول‌های شبکه کازئین و پایدار کننده‌ها پل نمکی ایجاد کنند و بر استحکام شبکه بیفزایند. مولکول‌های پایدار کننده از طریق دیگری نیز سفتی ژل را افزایش می‌دهند و آن افزایش شاخص ظرفیت اتصال آب است. با افزایش آب اتصالی خاصیت جامد بودن و الاستیک بودن ژل (مدول الاستیک) افزایش می‌یابد. هرچند خاصیت شکنندگی ژل در تنش‌های مکانیکی بالا بیشتر شده و ژل از تنش تسلیم و نقطه شکست مشخصی برخوردار می‌شود (Phillips, 2009). مولکول‌های هیدروکلوئید با توجه به قدرت تشکیل شبکه‌ای حاصل از اتصالات داخلی بین مولکولی و نیز با ترکیبات شیر باعث محبوس شدن مولکول‌های آب در شبکه حاصل و در نتیجه افزایش ظرفیت هیدراسیون فرمولاسیون می‌شوند.

۲-۴-انواع صمغ

صمغ‌ها، پلیمرهای هیدروفیل (آبدوست) هستند که سال‌های متمادی است که به شکل ترشحات درختان و بوته‌ها، عصاره گیاهان و جلبک‌های دریایی، آرد دانه‌ها، موسیلاژ بذرها، لعاب‌های چسبناک حاصل از فرآیندهای تخمیر و بسیاری از فرآورده‌های طبیعی دیگر یافت می‌شوند (Doublier, 2017). برخی صمغ‌ها علاوه بر خاصیت پایدارکنندگی، قوام دهندگی به عنوان امولسیفایر نیز عمل می‌کنند؛ به عبارت دیگر، مواد نام برده با افزایش ویسکوزیته و قوام فاز پیوسته از شکستن امولسیون جلوگیری می‌کنند. ترکیبات مذکور اغلب با تشکیل لایه‌های بین سطحی قوی در اطراف ذرات فاز پراکنده (روغن) به عنوان پایدار کننده عمل می‌کنند (Glicksman, 2020). منابع اصلی هیدروکلوئیدها در جدول ۱ ارائه شده است (Mirhosseini and Tabatabaee, 2012).

جدول ۱-منبع اصلی صمغ‌ها

Table 1 - The main source of gums

نوع	منبع	مثال
گیاهی	درخت	سلولز
	ماده‌ی مترشحه از گیاهان	صمغ عربی، کارایا، گاتی و کتیرا
	قسمت‌های مختلف گیاهان	نشاسته، پکتین و سلولز
	دانه‌ها	صمغ گوار، دانه‌ی خرنوب و تارا
	غده‌ها	کونجاک مانان
جلبکی	جلبک قرمز دریایی	صمغ آگار و کاراگینان
	جلبک قهوه‌ای دریایی	آلژینات
میکروبی	میکروب‌ها	زانتان، دکستران، ژلان، سلولز و کوردلان

صمغ‌های مترشحه گیاهی یک گروه عمده‌ای از هیدروکلوئیدها را تشکیل می‌دهند. بسیاری از درختچه‌ها و درختان مایع صمغ مانندی ایجاد می‌کنند که در مجاورت هوا و نور خورشید خشک شده و کلوخه‌ی شیشه‌ای (صمغ عربی، فارسی، هلو و زردآلو) و یا ماده مات (صمغ تراگاکانت) ایجاد می‌کنند. صمغ‌های مختلف دارای ویژگی‌های منحصر به فرد خود می‌باشند به عنوان مثال رنگ صمغ عربی از سفید تا کهربایی و یا قهوه‌ای متغیر است.

صمغ‌های مترشحه پلی‌ساکاریدهایی هستند که تولید آن‌ها به وسیله آلودگی‌هایی نظیر حمله حشرات، آسیب‌های مکانیکی و شیمیایی، استرس‌های آبی و دیگر عوامل محرک تنش‌زای محیطی در برخی گونه‌های گیاهان القاء می‌شود. اتیلن یک فاکتور اصلی مسئول برای القای تولید صمغ به شمار می‌آید. صمغ عربی، تراگاکانت، کارایا، صمغ گاتی، هلو و زردآلو جزء این گروه از صمغ‌ها می‌باشند که بسیاری از آن‌ها طی هزاران سال توسط انسان در سیستم‌های غذایی مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. عموماً همگی آن‌ها دارای بیش از ۴۰ درصد واحدهای گلوکورونیک و یا گالاکتورونیک اسید می‌باشند. در جدول ۲، ترکیبات شیمیایی تعدادی از صمغ‌های مترشحه گیاهی اورده شده است (Yemenicioğlu, 2020).

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی تعدادی از صمغ‌های مترشحه گیاهی

Table 2- Chemical compositions of a number of plant-secreted gums

ترکیبات شیمیایی	صمغ عربی	کارایا	کتیرا (*Astragalus fluccosus*)	کتیرا (*Astragalus rahensis*)
رطوبت	۱۳/۴۰	۱۳	۱۰/۴۰	۸/۷۹
پروتئین	۲/۷۷	۰/۵۶	۲/۵۹	۳/۸۲
خاکستر	۳/۴۲	۷/۱۰	۳/۲	۲/۵۵
کربوهیدرات	۸۰/۴۱	۷۴/۵۴	۸۳/۸۱	۸۴/۸۴

۲-۵- انتخاب و کاربرد صمغ‌ها در صنایع غذایی

انتخاب نوع هیدروکلوئیدها مساله مهمی است که اصولاً تحت تأثیر خواص عملکردی مورد نظر یا مورد انتظار در محصول نهایی و خواص عملکردی ذاتی هر هیدروکلوئید می‌باشد (Kayacier and Dogan, 2006). کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آن‌ها بستگی دارد. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها در مواد غذایی به ساختار مولکولی هیدروکلوئید، غلظت هیدروکلوئید، pH، دما و واکنش هیدروکلوئید با ساختار ترکیبات مواد غذایی (نمک‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین و ...)

وابسته می‌باشد. اخیراً تقاضا برای هیدروکلوئیدها با خواص عملکردی ویژه افزایش‌یافته است، بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب جهت استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد (Doublier, 2017). هیدروکلوئیدها پرمصرف‌ترین افزودنی‌ها در صنایع غذایی می‌باشند که می‌توان به برخی از کاربردهای آن‌ها از جمله عامل چسبندگی، عامل اتصال‌دهنده، عامل بافت دهنده، عامل باز دارنده تشکیل بلور، عامل تیره کننده، عامل تثبیت کف، عامل ژل کننده، عامل شکل‌دهنده، عامل محافظت‌کننده کلوئید، عامل سوسپانسیون کننده اشاره نمود. این ترکیبات قادرند رئولوژی و بافت سیستم‌های آبی را از طریق پایدارسازی امولسیون‌ها، سوسپانسیون‌ها و کف‌ها کنترل کنند (Sworn, 2000).

منابع

- **Bockisch, M. 2015.** Fats and oils handbook (Nahrungsfette und Öle), Elsevier.
- **da Silva, D. A., Aires, G. C. M. and da Silva Pena, R. 2020.** Gums—characteristics and applications in the food industry. Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products, IntechOpen.
- **Doublier, J.L., Garnier, C. and Cuvelier, G. 2017.** Gums and hydrocolloids: functional aspects. Carbohydrates in food, CRC Press: 307-354.
- **Esfahani, R., Jafari, S. M., Jafarpour, A. and Dehnad, D. 2019.** Loading of fish oil into nanocarriers prepared through gelatin-gum Arabic complexation. Food hydrocolloids, 90, 291-298.
- **Glicksman, M. 2020.** Origins and classification of hydrocolloids. Food hydrocolloids, CRC Press: 3-18.
- **Kumar, D. D., Mann, B., Pothuraju, R., Sharma, R. and Bajaj, R. 2016.** Formulation and characterization of nanoencapsulated curcumin using sodium caseinate and its incorporation in ice cream. Food & function, 7(1), 417-424.
- **Milani, J. and Maleki, G. 2012.** Hydrocolloids in food industry. Food industrial processes–Methods and equipment, 2, 2-37.
- **O'brien, R. D. 2008.** Fats and oils: formulating and processing for applications, CRC press.
- **Phillips, G. O. and Williams, P. A. 2009.** Handbook of hydrocolloids, Elsevier.
- **Pirsa, S. and Hafezi, K. 2022.** Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. Food Chemistry, 133967.
- **Safari, R., Raftani Amiri, Z., Reyhani Poul, S. and Esmaeilzadeh Kenari, R. 2022.** Evaluation and comparison of antioxidant and antibacterial properties of phycocyanin extracted from spirulina algae (Spirulina Platensis) in both pure and nanoencasulated forms with maltodextrin-sodium caseinate combination coating. Journal of food science and technology, 19(127), 345-358.
- **Saxena, A., Bhattacharya, A., Kumar, S., Epstein, I. R. and Sahney, R. 2017.** Biopolymer matrix for nano-encapsulation of urease–A model protein and its application in urea detection. Journal of colloid and interface science, 490, 452-461.
- **Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng X. and Chen, W. 2018.** Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. Trends in Food Science & Technology, 78, 34-60.
- **Soleimanifard, M., Feizy, J. and Maestrelli, F. 2021.** Nanoencapsulation of propolis extract by sodium caseinate-maltodextrin complexes. Food and Bioproducts Processing, 128, 177-185.
- **Ye, A. 2008.** Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: principles and applications–a review. International journal of food science & technology, 43(3), 406-415.
- **Yemenicioğlu, A., Farris, S. Turkyilmaz M. and Gulec S. 2020.** A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. International Journal of Food Science & Technology, 55(4), 1389-1406.

A review on the use of gums in the production of biopolymer-based nano capsules in the production of dairy products

Alireza Saeed Gohari[1], Leila Natghi[2]*, Laden Rashidi[3]*, Shila Berengy[2]

Received: 2021/12/06 **Accepted:2022/06/10**

ABSTRACT

Today, the production and consumption of functional foods is increasing in the world. This increase is due to the health-giving effects of these foods, which can help in maintaining and improving the favorable physical and mental condition of humans. Dairy products are an important part of this market. In addition to their inherent health benefits, these products provide some of the most important nutrients needed by the body, such as calcium, protein, and riboflavin. They can also be used in enriched foods as carriers of special and nutritious substances. Microencapsulation is a process in which bioactive and ultra-special materials are trapped in a wall system and protected against adverse environmental conditions. For this reason, its use in the production of functional foods and materials is increasing. One of the microencapsulation methods is the use of biopolymer-based nano-capsules using protein and polysaccharides. Gums are polysaccharides with high molecular weight and hydrophilic polymers that are found in the form of tree and shrub secretions, plant and seaweed extracts, seed flour, seed mucilage, viscous glazes resulting from fermentation processes and many other natural products, and are highly used in They are the food industry. Among these applications, we can mention viscosity increase, texture modification, crystallization control, syneresis prevention, film production, etc. One of their relatively new applications is the production of biological nanocomplexes, in which a protein is used to create a complex and form a nano capsule.

Key words: micro coating, gum, functional foods, nanocomplex, nano capsule

[1] PhD student, Department of Food Science and Industry, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[2]* Department of Food Science and Technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[3]* Department of Food and Agricultural Products, Food Technology and Agricultural Products Research Center, Standard Research Institute (SRI), PO Box 31745-139, Karaj, Iran

***Corresponding authors email:** Leylanateghi@yahoo.com, ladan_rsh@yahoo.com