

مروری بر استفاده از صمغ‌ها در تولید نانوکپسول‌های بر پایه بیوپلیمر در تولید محصولات لبنی فراسودمند

A review on the use of gums in the production of biopolymer-based nanocapsules in the production of ultra-beneficial dairy products.

علیرضا سعیدگوهری^۱، لیلا ناطقی^{۲*}

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰

چکیده:

امروزه تولید و مصرف غذاهای فراسودمند در جهان رو به افزایش است. این افزایش ناشی از اثرات سلامتی بخش این مواد غذایی است که می‌توانند در حفظ و ارتقاء وضعیت مطلوب جسمی و روحی انسان کمک کننده باشند. محصولات فراسودمند لبنی سهم مهمی از این بازار را تشکیل می‌دهد. این محصولات علاوه بر اثر سلامتی بخش ذاتی، در تامین بعضی از مهمترین مواد مغذی مورد نیاز بدن مانند کلسیم، پروتئین و ریبوفلاوین، می‌توانند به عنوان حامل مواد فرا ویژه و مغذی، در غذاهای غنی شده نیز به کار روند. ریزپوشانی فرایندی است که در آن مواد زیست فعال و فراویژه در یک سیستم دیواره‌ای به دام افتاد و در مقابل شرایط نامساعد محیطی محافظت می‌شود. یکی از روش‌های ریزپوشانی استفاده از نانوکپسول‌های بر پایه بیوپلیمر با استفاده از پروتئین و پلی ساکارید هاست. 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 بالایی در صنعت غذا می‌باشند. از جمله این کاربردها می‌توان به افزایش ویسکوزیته، اصلاح بافت، کنترل کریستالیزاسیون، جلوگیری از سینرسیس، تولید فیلم و ... اشاره کرد. یکی از کاربردهای نسبتاً جدید آنها تولید نانوکمپلکس‌های زیستی است که در آن از یک پروتئین جهت ایجاد کمپلکس و تشکیل نانوکپسول استفاده می‌شود.

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

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبه کننده: leylanateghi@yahoo.com

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 می‌توانند عملکردهایی فراتر از اثرات تغذیه‌ای در جهت افزایش سطح سلامتی برای بدن نیز داشته باشند. در سالهای اخیر نیز به طور فزاینده‌ای این عقیده که مواد غذایی دارای اثرات ارتقای سلامتی هستند، توسط مجامع بین‌المللی 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)

غذاهای فراسودمند^۳:

بحث در مورد غذای فراسودمند در اواخر دهه ۱۹۸۰ در ژاپن آغاز شد و توسعه آن بعداً در ایالات متحده آمریکا، از سال ۱۹۹۰ تحت 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^۴ و فراویژه^۵ در قالب غنی‌سازی^۶ 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 غنی‌سازی 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

³ - Functional foods

⁴ - Nutrient

⁵ - Nutraceutical: به هر ماده‌ای گفته می‌شود که بخشی از یک غذا است و فواید پزشکی یا سلامتی از جمله پیشگیری و درمان بیماری را ارائه می‌دهد (DeFelice, 1994).

⁶ - Fortification

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، تقریباً ۶۰-۷۵ 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، نوشیدنی‌های 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 کارئین، پروتئین‌های آب‌پنیر، پپتیدهای فعال زیستی، لاکتوفرین، لاکتوپراکسیداز، عوامل تشدیدکننده 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.

ریز پوشانی:

ریز پوشانی فرآیندی است که طی آن، مواد زیست‌فعال مانند: اسیدهای چرب امگا ۳، اسید لینولئیک کنژوگه 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 بیولوژیکی و تحویل کنترل‌شده (در مقدار و در مکان معین) آنها است امولسیفیه کردن، کوآسرواسیون، خشک کردن پاششی، سرد کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، پوشش دادن به روش بستر سیال، اکستروژن و ... از روشهای ریز پوشانی مواد غذایی هستند (Jafari, 2017).

نانوکپسولاسیون نوعی از ریز پوشانی است که در آن ذراتی در اندازه نانومتری (کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر) تولید می‌شوند. کاهش اندازه ذرات به زیر مقیاس نانومتری، موجب افزایش نسبت سطح به حجم و در نتیجه افزایش زیست‌دسترسی، پایداری فیزیکی و شفافیت می‌

گردد. در میان روش های 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 آبریز و مواد فراویژه مورد استفاده قرار گرفته اند (Ilyasoglu et al, 2014).

نانوکپسول ها بر پایه بیوپلیمرها:

این دسته از نانوکپسول ها می توانند از پروتئین ها، پلی ساکاریدها و یا کمپلکس این دو دسته با روش های مختلف تولید گردند. بیوپلیمرهای غذایی به ویژه پروتئین ها، به دلیل ارزش تغذیه ای بالا و ویژگی های ساختاری خاص، در این زمینه مورد توجه قرار گرفته اند. پروتئین ها و پلی ساکاریدها باعث ایجاد پایداری و بهبود بافت در سیستم های غذایی می شوند و خصوصیات رئولوژیکی آنها را بهبود می بخشد و همچنین با استفاده از آنها می توان کپسول هایی را تولید کرد که ترکیبات مغذی را به دام انداخته و از آنها در برابر شرایط نامساعد محافظت کنند (Shishir, 2018 #592). به این ترتیب می توان از پروتئین ها، پلی ساکاریدها 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 #593).

نانوحامل های حاصل از اختلاط پروتئین- پلی ساکارید (کمپلکس سازی):

در اثر ایجاد برهمکنش بین دو یا چند بیوپلیمر، پوشش های مرکب تشکیل شده که علاوه بر داشتن خواص تک تک بیوپلیمرها، خواص آنها را در حالت تشکیل کمپلکس بهبود می بخشد. نانوحامل های بر پایه کمپلکس های پلی ساکارید-پروتئین نسبت به نانوحامل های پروتئینی، دارای ویژگی های فیزیکی و حفاظتی بهتری هستند، چون حضور پلی ساکاریدهای آنیونی در لایه بیرونی، موجب می شود که به علت تولید نیروی دافعه منفی بالاتر در pH های 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 پروتئین ها و پلی ساکاریدها از جمله پروتئین های شیر مانند کازئینات و پلی ساکاریدهای آنیونی مانند پکتین، برای ساخت نانوکمپلکس ها مورد استفاده قرار می گیرند (Esfahani, 2019 #596).

صمغ ها (هیدروکلوئیدها):

صمغ ها پلیمرهای زیستی با وزن ملکولی بالایی هستند که از آن ها به منظور افزایش قوام، تشکیل ژل، تثبیت امولسیون و کف، 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 در آب محلولهایی چسبناک تولید می کنند که کاربردهای غذایی، دارویی، صنعتی و ... دارند. کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آن ها 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 می باشد (da Silva, 2020 #585):

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

امروزه هیدروکلوئیدها، به طور وسیعی در بخش های صنعتی استفاده می شوند و کارکردهایی از قبیل قوام دهندگی و ژل دهندگی محلول های آبی، پایدارسازی کفها و امولسیونها، جلوگیری از تشکیل کریستال های 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).

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).

ساختار صمغ‌ها:

هریک از هیدروکلوئیدها ویژگی‌های ویژه‌ای دارند که ناشی از ساختار مولکولی منحصر به فرد آن‌ها می‌باشد. با وجودی که اثرات بافت دهنده‌گی 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 گرانیوی کم یا زیاد، نگه می‌دارند. واکنش‌های بین این شبکه کلوئیدی و محیط گرانیوی 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). (#586)

ساختمان پلی ساکارید پیچیده غیرقابل هضم (فیبرهای غذایی) 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 زنجیره‌های 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).

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 برهم‌کنش 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 به صورت 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 شیمیایی است. بدین ترتیب که مولکول‌های پایدار کننده‌ها با افزایش چگالی شبکه، آب آزاد را به صورت 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 (Pirsa, 2022 #587).

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 #588). 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.

صمغ‌های غذایی:

هیدروکلوئیدهای غذایی عبارت‌اند از درشت مولکول‌های آبدوست که به عنوان اجزاء مفید در کنترل ریزساختار، بافت، طعم و ماندگاری در صنایع غذایی به کار می‌روند. علاوه بر ویژگی‌های عملکردی مناسب و قابل توجه، ویژگی‌های تغذیه‌ای ارزشمند آن‌ها نیز موجب گرایش مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان به هیدروکلوئیدها شده است (Glicksman, 2020 #589).

انتخاب و کاربرد صمغ‌ها:

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 افزایش یافته است، بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب جهت استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد (Doublie, 2017 #590). هیدروکلوئیدها پرمصرف‌ترین افزودنی‌ها در صنایع غذایی می‌باشند که می‌توان به برخی از کاربردهای آن‌ها از جمله عامل چسبندگی، عامل اتصال‌دهنده، عامل بافت‌دهنده، عامل بازدارنده تشکیل بلور، عامل تیره‌کننده، عامل تثبیت‌کف، عامل ژل‌کننده، عامل شکل‌دهنده، عامل محافظت‌کننده کلوئید، عامل سوسپانسیون‌کننده اشاره نمود. این ترکیبات قادرند رئولوژی و بافت سیستم‌های آبی را از طریق پایدارسازی امولسیون‌ها، سوسپانسیون‌ها و کف‌ها کنترل کنند (Sworn, 2000).

انواع صمغ:

انواع صمغ 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 (Doublie, 2017 #590). برخی صمغ‌ها علاوه بر خاصیت پایدارکنندگی، قوام‌دهندگی 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 پایدارکننده عمل می‌کنند (Glicksman, 2020 #589). منابع اصلی هیدروکلوئیدها در جدول ۱-۱ ارائه شده است (Mirhosseini and Tabatabaee, 2012).

جدول ۱-۱- منبع اصلی صمغ‌ها (Mirhosseini and Tabatabaee, 2012)

Table 1-1 - The main source of gums (Mirhosseini and Tabatabaee, 2012)

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

صمغ‌های مترشحه‌ی گیاهی:

صمغ‌های مترشحه‌ی گیاهی یک گروه عمده‌ای از هیدروکلوئیدها را تشکیل می‌دهند. بسیاری از درختچه‌ها و درختان مایع صمغ ماندنی ایجاد می‌کنند که در مجاورت هوا و نور خورشید خشک شده و کلوخه‌ی شیشه‌ای (صمغ عربی، فارسی، هلو و زردآلو) و یا ماده‌ی 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 (Yemenicioğlu, 2020 #591).

جدول ۱-۲- ترکیبات شیمیایی تعدادی از صمغ‌های مترشحه‌ی گیاهی

Table 2-1- Chemical compositions of a number of secreted plant gums

ترکیبات شیمیایی	صمغ عربی	کارایا	کتیرا (Astragalus flucosus)	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

References:

منابع :

1. Bockisch, M. (2015). Fats and oils handbook (Nahrungsfette und Öle), Elsevier.
- da Silva, D. A., G. C. M. Aires and R. da Silva Pena (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., C. Garnier and G. Cuvelier (2017). Gums and hydrocolloids: functional aspects. Carbohydrates in food, CRC Press: 307-354.
- Esfahani, R., S. M. Jafari, A. Jafarpour and D. Dehnad (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., B. Mann, R. Pothuraju, R. Sharma and R. Bajaj (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 G. Maleki (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 P. A. Williams (2009). Handbook of hydrocolloids, Elsevier.
- Pirsa, S. and K. Hafezi (2022). "Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry." Food Chemistry: 133967.
- Safari, R., Z. Raftani Amiri, S. Reyhani Poul and R. Esmaeilzadeh Kenari (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 (Iran) **19**(127): 345-358.
- Saxena, A., A. Bhattacharya, S. Kumar, I. R. Epstein and R. Sahney (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., L. Xie, C. Sun, X. Zheng and W. Chen (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., J. Feizy and F. Maestrelli (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., S. Farris, M. Turkyilmaz and S. Gulec (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 nanocapsules in the production of ultra-beneficial dairy products.

Alireza Saeed Gohari ⁷, Leila Nateghi ^{*8}

Received: 2022/12/01

Accepted: 2023/05/08

ABSTRACT

Nowadays, 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 nutraceuticals. Encapsulation is a process in which nutrients and nutraceuticals are trapped in a wall system and protected against adverse environmental conditions. One of the encapsulation methods is the use of biopolymer-based nanocapsules 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 increasing viscosity, modifying texture, controlling crystallization, preventing syneresis, 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 nanocapsule

Key words: microcoating, gum, useful, nanocomplex, nanocapsule

⁷ PhD student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁸ Associate Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

***Corresponding author:** leylanateghi@yahoo.com