دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

عنوان: کپسوله سازی پروبیوتیک ها

شیوا رضایی[۱]، محمود توکلی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه زابل، زابل shivarezawi8897@gmail.com

[۲] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل mtavakoli@uoz.ac.ir

چکیده

پیشینه: باکتری های پروبیوتیک به عنوان میکروارگانیسم های زنده ای هستند. وقتی که به مقدار کافی مصرف شوند، برای میزبان مفید هستند. فعالیت و زنده ماندن پروبیوتیک ها تحت تاثیر عوامل پیچیده در محیط بافت، اندام ها، اسیدها، صفرا، افزایش غلظت یون های خاص، فشار اسمزی، استرس اکسیداتیو و انتقال از طریق دستگاه گوارش است. از این رو توسعه روش های مناسب، سریع و کم هزینه به منظور محافظت از زنده مانی و اثربخشی باکتری ها بسیار مورد نیاز است.

این تحقیق با هدف ساخت کپسوله کردن پروبیوتیک ها با پودرو نانوالیاف و پوشش زئین به روش الکتروریسی و بررسی کاربرد آن به عنوان مواد دیواره، صورت خواهد گرفت.

روش ها: ما یک تحقیق گسترده با استفاده از پایگاه های اطلاعاتی مرکز سیویلیکا، انجام جستجو های google scholar ، Elsevier connect ، web of Science درباره این موضوع انجام دادیم.

نتیجه گیری: کپسولاسیون پروبیوتیک ها با روش الکتروهیدرودینامیک (EHD) راندمان زنده مانی باکتری های مفید را افزایش می دهد. ضمن اینکه با توانایی خود در محصور کردن پروبیوتیک ها با استفاده از میدان الکتریکی، مسیرهای جدیدی را برای فناوری های کپسوله سازی پروبیوتیک ها باز کرده است این فرآیندها از میدان های الکتریکی استفاده می کنندکه می توانند با استفاده از پراکندگی های آبی، در دمای اتاق بدون گرما، و بدون تأثیر بر زنده ماندن سلول های زنده کار کنند. این فرآیند در خشک شدن سریع با مواد غذایی سازگاراست و امکان کپسولاسیون با کارایی بالا و پایدار را فراهم می کند.

کلمات کلیدی: پروبیوتیک ها، کپسوله سازی، الکتروریسی، نانوالیاف، پلیمرزئین

مقدمه

انجمن غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی(WHO) باکتری های پروبیوتیک را میکروارگانیسم های زنده ای معرفی می کند. وقتی که به مقدار کافی مصرف شوند، برای میزبان مفید هستند[3]. پروبیوتیک ها به صورت خوراکی مصرف می شوند و به دلیل فواید سلامتی که با افزایش فلور مفید در ارگانیسم به ارمغان می آورند حائز اهمیت اند. به طور مثبت باعث تحریک سیستم ایمنی بدن، تغییر بیان سیتوکین با القای مشخصات سیتوکین مخاطی، کمک به تعدیل پاسخ ایمنی میزبان، مکمل درمانی بیماری های مختلف مانند: اسهال ناشی از باکتری و ویروس های بیماری زا، دیابت، سرطان، بیماری های التهابی و سندروم روده تحریک پذیر می شوند[4]. مصرف خوراکی آنها همچنین می تواند یک آنتی بیوتیک درمانی نرم جایگزین برای کاهش رشد فلور بالقوه بیماری زا باشد[5] اثرات مفید پروبیوتیک ها منوط به زنده ماندن آنهاست. زمانی که به روده ها می رسد حداقل مقدار cfu (10^6-10^7) (واحد تشکیل کلنی) در محصول می باشد[6].اغلب از نظر زنده ماندن در طول قرار گرفتن در معرض شرایط سخت روده در دستگاه گوارش فوقانی چالش برانگیز است. مایعات بسیار اسیدی در معده ممکن است به طور مستقیم زنده ماندن میکروبی را کاهش داده و خواص مرتبط با پروبیوتیک را تغییر دهند. بقای کمتر پروبیوتیک ها در محصولات غذایی تحت تاثیر عواملی مانند اکسیزن، PH و دمای ذخیره سازی است که روی زنده ماندن میکروارگانیسم ها تاثیر می گذارند[4].این مشکل ممکن است با ایجاد یک فرمول پروبیویتک مقاوم در برابر مایع معده از طریق فناوری کپسولاسیون حل شود[7].

کپسوله سازی پروبیوتیک ها به عنوان یک ابزار بیوتکنولوژیکی برای مقابله با مسائل فوق ناشی از استفاده از پروبیوتیک ها در بسیاری از مناطق توسعه داده شد[3]. کپسوله سازی، خواص ارگانولپتیک محصول نهایی را افزایش میدهد. طعم را بدون تغییر طعم، عطر، رنگ و بافت پوشش می دهد و سبب افزایش ازاد سازی ویژگی های مواد تشکیل دهنده می شود [8]و مواد فعال زیستی را از شرایط نامطلوب (نور، PH، گرما، آنزیم ها ، اکسیژن، آب) حفظ می کند.در عین حال ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنها مانند فراهمی زیستی ، پایداری و رهش کنترل شده را بهبود می بخشد و فعالیت آنها را حفظ میکند[9]. خواص مهم مواد دیوار مناسب شامل هزینه کم، ویسکوزیته کم، ظرفیت تشکیل فیلم، حلالیت بالا، هیدروسکوپی کم، پایداری بالا در برابر محیط های هدف، حفاظت بالا، فراوان، غیر سمی و سازگار با مواد غذایی یا دارویی است[10].

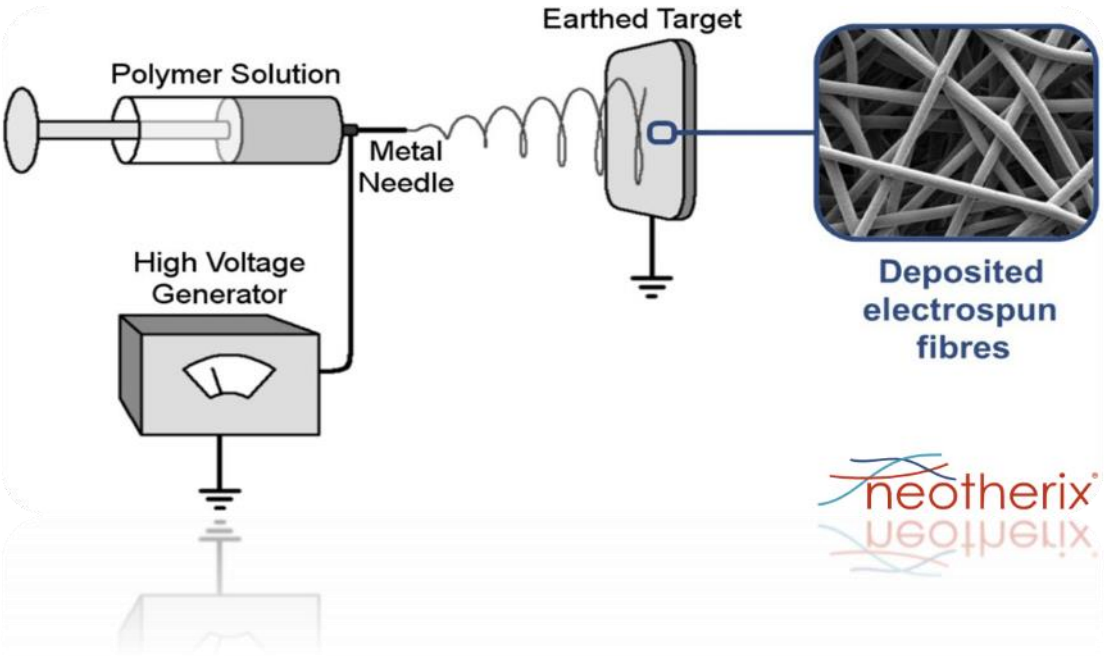
1.الکتروریسی

الکتروریسی یک تکنیک غیر مکانیکی است که برای تهیه الیاف پیوسته زیر میکرونی یانانو مقیاس از طریق اثر میدان الکتریکی خارجی استفاده می شود. این یک تکنیک بسیار انعطاف پذیر و ساده است که می تواند الیاف الکتروریسی شده با تخلخل بالا و نسبت سطح به حجم بالا تولید کند. الیاف تحت تأثیر غلظت پلیمر، وزن مولکولی و ویسکوزیته محلول، ولتاژ اعمال شده، فاصله نوک تا کلکتور و سرعت جریان قرار می گیرند. اخیراً الکتروریسی به عنوان جایگزینی برای تکنیک های مرسوم مورد استفاده برای ریزپوشانی توسعه یافته است. یک ولتاژ الکتریکی به محلول پلیمری اعمال می شود که منجر به تجمع بارهای الکتریکی در سطح مایع می شود. هنگامی که یک ولتاژ بحرانی اعمال می شود، دافعه کولمبی بارها بر کشش سطحی قطرات پلیمر غلبه می کند و سپس جت به بیرون پرتاب می شود. مواد مختلفی می توانند در ساختار دیواره الیاف نقش داشته باشند، از جمله پلیمرهای زیستی (مانند پروتئین های حیوانی و گیاهی، کربوهیدراتها)، پلیمرهای زیست سازگار پلی اتیلن اکسید(PEO) ، پلی وینیل الکل(PVA)، پلی کاپرولاکتون (PCL)، زئین، کیتوزان[8].

الکتروریسی فرآیند ساده ای است که مقرون به صرفه است و برای کپسوله کردن موادفعال زیستی استفاده می شود. این تکنیک بدون گرم کردن پردازش می شود که یک عامل بسیار مهم است. این عامل به حفظ خواص مواد زیست فعال و همچنین جلوگیری ازتخریب مواد دیوار کمک می کند[8]. با روش های الکتروریسی، انواع مختلفی از پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان، روغن ها، مواد مبتنی بر پروتئین، مواد زیست فعال مانند آویشن میتوانند الکتروریسی شوند و سپس مواد در مقیاس نانو به دست آمده را می توان به طور موثر به منظور به تاخیر انداختن فساد میکروبیولوژیکی، زوال شیمیایی و حسی استفاده کرد[11]. اسانس های تجاری و مرکباتی مانند رزماری،

لورل، آویشن، مریم گلی، آفتابگردان، کلزا، ذرت،زیتون، پرتقال و لیمو می توانند به طور موثری برای بهبود ماندگاری گوشت ماهی مورداستفاده قرار گیرند[11].

ترکیبات استاندارد ES اغلب شامل ترکیبات هالوژنه به دلیل قدرت حلالیت بالای آنها برای پلیمرهای آبگریز و نقطه جوش کم است .این نوع حلال ها عمدتاً به دلیل سمیت زیاد و تأثیرات زیست محیطی زیاد، نگرانی های بیشتری را از دیدگاه علمی، عمومی و صنعتی ایجاد کرده اند. علاوه براین، ترکیبات هالوژنه اخیراً به شدت تنظیم شده اند، به عنوان مثال توسط مقررات کنترل شیمیایی در اتحادیه اروپا (REACH) با توجه به تجاری سازی محصولات با استفاده از تکنیکES ، بسیاری از شرکت ها در پیاده سازی این روش در خط تولید خود تردید دارند، زیرا مستلزم دانش زیادی در زمینه مدیریت حلال ها و دفع مناسب آن ها است که همچنین بسیار پرهزینه است. برای تولید در مقیاس صنعتی، ES شامل استفاده از حجم زیادی از حلال هایی است که نیاز به بازیافت یا امکانات مدیریت زباله دارند. این عمدتاً به دلیل غلظت نسبتاً کم پلیمر در محلول های ریسندگی مورد نیاز برای به دست آوردن ویسکوزیته مشخص از پلیمرهای با وزن مولکولی بالا است[12].



1-Electrospinning process

2.عوامل موثر بر الکتروریسی

الیاف الکتروریسی به ویسکوزیته محلول، درجه درهم تنیدگی زنجیره آنها بستگی دارد. ویسکوزیته محلول پلیمری بر چرخش پذیری محلول و جت خارج شده و در نتیجه مورفولوژی الیاف الکتروریسی شده تأثیر دارد. ضریب ویسکوزیته مستقیما با غلظت، وزن مولکولی و ترکیب زنجیره پلیمر مرتبط است. افزایش مقدار ویسکوزیته مربوط به تشکیل الیاف الکتروریسی شده با بزرگترین قطر و یکنواخت تر است. با این حال، محدوده بهینه غلظت پلیمر وجود دارد که بهترین کنترل محلول را برای تشکیل الیاف الکتروریسی شده امکان پذیر می کند. کشش سطحی جت الکتروریسی پارامتری است که توسط ولتاژ اعمال شده ایجاد می شود و به دلیل تأثیر آن بر چرخش پذیری

مایع در فرآیند بسیار مهم است. روش استفاده از سورفکتانت ها برای افزایش قابلیت الکتروریسی و کاهش قطر الیاف الکتروریسی شده و افزایش یکنواختی بسیار رایج است. انتخاب حلال بسیار مهم است زیرا بر شکل گیری و تخلخل الیاف الکتروریسی شده تأثیرمی گذارد. عامل مهم دیگر سرعت جریان پلیمر از سرنگ است که بر سرعت جت و بنابراین حجم محلول در نوک سوزن در طول فرآیند تأثیر می گذارد. معمولاً تخلخل و شکل الیاف تشکیل شده با افزایش سرعت جریان افزایش می یابد. ویژگی های محیطی مانند رطوبت و دما عواملی هستند که بر مورفولوژی و قطر ساختارهای الکتروریسی شده تأثیر می گذارند[8].

3.مزایای الکتروریسی

الکتروریسی فرآیند ساده ای است که مقرون به صرفه است و برای کپسوله کردن مواد فعال زیستی استفاده می شود. این تکنیک بدون گرم کردن پردازش می شود که یک عامل بسیار مهم است. این عامل به حفظ خواص مواد زیست فعال و همچنین جلوگیری ازتخریب مواد دیوار کمک می کند. الیاف الکتروریسی دارای مزایای ساختاری مانند نسبت سطح بزرگ به حجم، قطرهای بهینه، شکل و ویژگی های تخلخل هستند که برای عملکرد به عنوان حامل مواد فعال زیستی مهم هستند آنها پایداری و فراهمی زیستی ترکیبات فعال زیستی را افزایش می دهند و انتشار کنترل شده آن را بهبود می بخشند[8].

4.نانوالیاف

نانوالیاف پلیمری را می توان با استفاده از تکنیک های مختلفی ساخت، اما رایج ترین و پرکاربرد ترین آنها، تکنیک الکتروریسی است. در مطالعه ای مشابه عصاره به نانوالیاف کیتوزان و پلی ونیل الکل با استفاده از تکنیک الکتروریسی و فعالیت ضد باکتریایی آن در برابراستافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیا کلی بررسی گردید[1]. نانوالیاف الکتروریسی شده را می توان از طیف متنوعی از پروتئین ها و پلی ساکاریدها، به صورت جداگانه یا ترکیبی ایجاد کرد، که ممکن است منجر به نسل جدیدی از مواد بسته بندی سازگار با محیط زیست با مزایایی مانند زیست سازگاری شود[2]. زیست تخریب پذیری و هزینه رقابتی علاوه بر این، بسیاری از انواع مختلف عوامل ضدمیکروبی طبیعی و یا مصنوعی را می توان در نانوالیاف الکتروریسی شده مانند اسانس، پپتیدهای ضد میکروبی، عصاره های گیاهی و نانوذرات معدنی گنجاند. این امر امکان آماده سازی مواد بسته بندی فعال را فراهم می کند که در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم های فساد و بیماری زا موثر هستند[13].

5.زئین

زئین مهمترین پروتئین ذخیره سازی ذرت است و حدود ۵۰-۴۵ درصدپروتئین ذرت را تشکیل می دهد. اولین بار در سال ۱۸۹۷ بر اساس حلالیت آن در محلول های الکلی آبی شناسایی شد.[4]. این یک پروتئین منفرد نیست، بلکه مخلوطی از پروتئین با وزن های مولکولی مختلف است که بر اساس حلالیت آنها به عنوان نوعγ ، β، αیا δ طبقه بندی می شود[14]. زئین یکی از آبگریزترین پروتئین ها به دلیل وجود اسیدهای آمینه غیرقطبی مانند لوسین، پرولین و آلانین است[15]. علاوه بر این، زین در برابر حرارت مقاوم است و دارای یک سد اکسیژن بزرگ است [14].جدا از زیست تخریب پذیری وزیست سازگاری، زین دارای قابلیت ارتجاعی بالا و قابلیت تشکیل فیلم است[3] به عنوان ماده ریز پوشانی انتخاب شد. این ماده محصور کننده ، جذب رطوبت کم، و ویژگی های آنتی اکسیدانی و یک ماده ی کمکی نامحلول در آب برای کپسوله کردن مواد زیست فعال آبدوست با خشک کردن اسپری را نشان می دهد. این ویژگی ها آن را برای کاربردهای مختلف مانندکاربردهای رهاسازی کنترل شده، پوشش ها، الیاف، فیلم های زیست تخریب پذیر و پلاستیک ها مناسب می کند[16].

ریزپوشانی آتوکوفرول با زئین و بتا سیکلودکسترین با روش خشک کردن اسپری برای ثبات رنگ و بهبود ماندگاری نوشیدنی های میوه انجام داده شده است[17]. راندمان کپسولاسیون و پایداری عصاره چای سبز در ساختار های زئین و ژلاتین از طریق فرایند الکتروپاشی گزارش شده است. نتایج خوبی در توسعه الیاف و ذرات زئین الکتروریسی شده به عنوان ماتریس های تحویل روغن امگا۳ برای کاربرد های غذایی و تغذیه ای گزارش شده است [17].توانایی زئین ماتریس ها در ریز پوشانی کردن(vitamin b12) گزارش شده که پتانسیل

آنها را برای بهبود دسترسی زیستی ترکیبات پیشنهاد می کند. باتوجه به محصول نهایی امکان تولید ریز ساختار هایی با ظرفیت کپسولاسیون بالا، مورفولوژی خاص و رها سازی کنترل شده زیست ترکیبی مناسب وجود دارد[9]. راندمان کپسوله سازی بالایی از روغن دانه هرز هیپ حدود۹۰٪ در ماتریس یکنواخت زئین پیدا شد. این ماتریس ها برای بهبود مانگاری موز تایید شده است. از زئین برای بسته بندی در صنایع غذایی نیز استفاده شده است[8].

6.ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال طبیعی

ریزپوشانی یک فناوری با کاربرد در رشته های مختلف از جمله دارویی، آرایشی و بهداشتی و غذایی است. ماکرو کپسولاسیون شامل تثبیت و به دام افتادن مولکول ها یا ترکیبات فعال و بی اثر در یک حامل پلیمری به نام کپسولانت است. به عنوان مثال، میکروکپسول ها، که مواد کامپوزیتی در محدوده میکروگرم هستند، به عنوان یک مسیر قابل اطمینان برای تحویل بسیاری از ترکیبات زیست فعال مانند داروها استفاده می شود. در بخش مواد غذایی، ریزپوشانی برای پوشاندن مواد مغذی ضروری، مواد معدنی، طعم دهنده ها، رنگ ها، نگهدارنده ها، پری بیوتیک ها و پروبیوتیک ها برای کمک به غنی سازی استفاده می شود. حفظ مواد غذایی و ایمنی محصولات طبیعی ازمحصولات غذایی مختلف به عنوان محافظتی در برابر تخریب احتمالی در طول پردازش مواد غذایی و تعامل با مواد غذایی دیگر عمل می کند که ممکن است منجر به غیرفعال شدن محصولات زیست فعال شود. علاوه بر این، زیست فعالی آن حفظ می شود و اغلب در سیستم غذایی افزایش می یابد. چندین محصول طبیعی برای کاربردهای غذایی کپسوله شده اند، از جمله ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاهی.(۱۵-۷)،(روغن ضروری(۲۵-۱۶)، (باکتریوسین ها(۲۶-۱۳) و سایر محصولات طبیعی ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی متعدد[13].
علاوه بر حفظ زیست فعالی ترکیبات زیست فعال طبیعی، میکروکپسوله سازی آزادسازی کنترل شده با فعالیت طولانی مدت را تضمین می کند. به طور معمول، پلیمرهایی مانند پلی لاکتیک اسید گلیکولیک (PLGA) ،کیتوزان، آلژینات، ژلاتین، اتیل سلولز، پلی وینیل، سیکلودکسترین، نشاسته، پروتئین آب پنیر، صمغ، مالتودکسترین، و بسیاری دیگر به عنوان مواد پوششی در ریزپوشانی محصولات طبیعی برای کاربردهای غذایی استفاده می شود. با این حال، عوامل متعددی باید در انتخاب پلیمر در نظر گرفته شود. این عوامل شامل زیست سازگاری ترکیب فعال و پلیمر است که برای اطمینان از فرآیند کپسولاسیون کارآمد از اهمیت بالایی برخورداراست. دوم، حلالیت و قطبیت پلیمر باید با ترکیب فعال مطابقت داشته باشد تا راندمان کپسولاسیون بهبود یابد. ثالثاً، روش های مورد استفاده در ریزپوشانی. روش شناسی شیمیایی مانند؛ پلیمریزاسیون سوسپانسیون، پلیمریزاسیون پراکندگی، پلیمریزاسیون امولسیونی، پلیمریزاسیون درجا و پلیمریزاسیون سطحی، یا پلی تراکم،۲ژل سازی یونی به کمک همگی مناسبت های خاصی دارند[18].

7.روش های ریز پوشانی

روش های مختلفی برای ریز پوشانی باکتری ها مانند خشک کردن انجمادی(FD) استفاده شده است. خشک کردن با اسپری(SD)، الکتروپاشی(ES)، اسپری سرد کننده، تکنیک های اکستروژن و امولسیون، میکروکپسول ها با مورفولوژی بهتری به دست می آیند و امکان تولید کپسول های کوچک را فراهم می کنند. الکتروپاشی دمای پایین تری دارد و برای کپسوله کردن میکروارگانیسم های زنده مناسب تر است. در روش خشک کردن انجمادی، رایج ترین روش تولید میکروکپسول های مبتنی بر پلیمر های زیستی است با این حال، دما های بالاتر استفاده می شود که به طور بالقوه به سلول های زنده آسیب می زند. روش های (SD)، (FD) و (ES) را برای کپسوله سازی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که الکتروپاشی بیشترین و خشک کردن انجمادی کمترین آسیب را داشتند. صمغ ایرانی بیشترین اثر محافظتی را در برابر عوامل آسیب رسان سلول داشت[6].

8.کپسولاسیون

کپسولاسیون عبارت است از به دام انداختن یک ماده فعال مانند انتی اکسیدان ها، اسید های چرب ضروری، ویتامین ها یا سلول های زنده (مثلا پروبیوتیک ها) در یک ماده دیواره (مانند پلیمر کربوهیدرات، پروتئین ، لیپیدها).کپسوله سازی نه تنها پایداری فراهمی زیستی و خواص رها سازی کنترل شده زیست مولکول را بهبود می بخشد، بلکه به پوشاندن بو و طعم ناخواسته ترکیب نیز کمک می کند[19].

کپسوله کردن پروبیوتیک ها در یک ماتریکس پلیمری ممکن است منجر به افزایش تحویل پروبیوتیک ها شود. زیرا این امر باعث کاهش قرار گرفتن در معرض محیط، به ویژه در طول ذخیره سازی و عبور از معده اسیدی می شود. حامل پلیمری به عنوان یک مانع فیزیکی عمل می کند و رها سازی کنترلی را در بافت هدف فراهم میکند[4]. با کپسوله کردن جذب بدن انسان به حداکثر می رسد[15].کپسوله سازی پروبیوتیک ها به عنوان یک ابزار بیوتکنولوزیکی برای مقابله با مسائل فوق ناشی از استفاده از پروبیوتیک ها در بسیاری از مناطق توسعه داده شد[3] . کپسوله کردن پروبیوتیک ها اهداف مختلفی را دنبال می کند:۱- برای جدا سازی باکتری ها از محیط اطرافشان، ایجاد مانعی برای محافظت از آنها در برابر آسیب درحالیکه اجازه می د هد مولکول های کوچک از مواد کپسوله عبور کنند.۲- برای حفظ پایداری پروبیوتیک ها.۳- برای ایجاد یک حامل با مقدار زیاد بار پروبیوتیک ها.۴- برای فعال کردن ازاد سازی کنترل شده و مداوم پروبیوتیک ها.۵- برای ترویج تولید مثل.۶- برای تسهیل پایبندی پروبیوتیک ها و افزایش زمان اقامت[3].

کپسوله سازی، خواص ارگانولپتیک محصول نهایی را افزایش می دهد. طعم را بدون تغییر طعم، عطر، رنگ و بافت پوشش می دهد و سبب افزایش آزاد سازی ویژگی های مواد تشکیل دهنده می شود[8] و مواد فعال زیستی را از شرایط نامطلوب (نور، PH، گرما، آنزیم ها ، اکسیژن، اب) حفظ می کند. در عین حال ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنها مانند فراهمی زیستی ، پایداری و رهش کنترل شده را بهبود می بخشد و فعالیت آنها را حفظ می کند[9]. مواد دیواری به دلیل اثرات مهمی که بر تحویل هدف، فراهمی زیستی، زیست سازگاری و حفاظت از ترکیبات فعال زیستی دارند، نقش مهمی در تکنیک کپسوله سازی دارند. همچنین این مواد نباید بر طعم، رنگ، بافت و سایر خواص غذاها تأثیر بگذارند .خواص مهم مصالح دیوار مناسب شامل هزینه کم، ویسکوزیته کم، ظرفیت تشکیل فیلم، حلالیت بالا، هیدروسکوپی کم، پایداری بالا در برابر محیط های هدف، حفاظت بالا، فراوان، غیر سمی و سازگار با مواد غذایی یا دارویی است[20].کارایی و پایداری کپسولاسیون مستقیماً تحت تأثیر نوع ماده پوشش انتخابی قرار می گیرد. برخی از مهمترین خواص آنها عبارتند از: (۱)پایداری خوب در کاربرد مورد نظر، (۲) توانایی مهر و موم موثر هسته درون کپسول و ایجاد حفاظت بهینه در برابر شرایط نامطلوب، (۳) عدم وجود طعم ناخوشایند و خاموش شدن- طعم و (۴) قابلیت اقتصادی [20].

9.انواع کپسولاسیون

فرآیندکپسولاسیون را می توان بر اساس اندازه ذرات حاصل به سه نوع طبقه بندی کرد، یعنی نانو (5000) میکرومترکپسول یا حامل به استثنای محصولاتی که به عنوان مکمل های غذایی فروخته می شوند، میکرو و نانو کپسوله سازی در کاربردهای غذایی با تأثیر و پتانسیل قابل توجهی در زمینه های متنوعی مانند بسته بندی فعال، طعم های طبیعی، نگهدارنده ها، آنتی اکسیدان ها، عملکردی کردن مواد غذایی مشتق شده از محصولات کشاورزی رایج تر است. محصولات جانبی، و همچنین حفاظت و افزایش انتقال مواد مغذی و غیر مغذی فعال زیستی[21] .

1.9.میکرو کپسولاسیون

ریزپوشانی برای محصور کردن مواد گازی، مایع یا جامد در کپسول های کوچکی با اندازه۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر ساخته شده است که می تواند مواد هسته ای خود را با سرعت های کاملاً مشخص تحت شرایط خاص آزاد کند. این فناوری در ابتدا کاربردهای متعددی دربخش داروسازی پیدا کرد و بعداً به دلیل توانایی آن در محافظت از اجزای غذایی بیواکتیو ناپایدار، ایجاد غذاها و مواد با ویژگی های عملکردی جدید و ارائه کارآمد اجزای فعال، در صنایع غذایی و مواد غذایی مورد پذیرش قرار گرفت. در نتیجه، روش های مختلف ریزپوشانی در دو دهه گذشته مورد مطالعه قرار گرفته اند مناسب ترین فرآیند بر اساس ماهیت اجزای فعال زیستی، خواص فیزیکی و شیمیایی مواد پوسته بیرونی، و خواص مورد نظر محصول نهایی غذا یا نوشیدنی بسته به کاربرد مورد نظر آن تعیین می شود[22].

ریزپوشانی چندین عملکرد مهم را در کاربردهای غذایی انجام می دهد، به ویژه حفظ واکنش پذیری مواد هسته از محیط، به عنوان مثال، نور، آب، و اکسیژن، و کنترل سرعت انتقال این ماده فعال به محیط بیرونی. به همین ترتیب، می تواند اختلاط یکنواخت ترکیبات زیست

فعال را تقویت کند و با اجتناب از توده شدن، کار را تسهیل کند. بنابراین بسیارمهم است که پوشش بیرونی میل ترکیبی بالایی برای سایر مواد موجود در مخلوط نشان دهد تا امکان انحلال و ترکیب یکنواخت مواد محصور شده را فراهم کند. علاوه بر این، پوشش آزادسازی محتوای محصور شده را کنترل می کند، هر گونه ویژگی ناخوشایند مانند طعم های بد را می پوشاند و به رقیق شدن محتوای محصور شده در زمانی که نیاز به استفاده از ترکیبات زیست فعال در مقادیر کم باشد، کمک می کند[23] .

مکانیسم های اصلی درگیر در رهاسازی تدریجی مواد محصور شده عبارتند از انتشار و تخریب کنترل شده، استفاده از یک حلال مناسب و همچنین اثرات ترکیبی pH ، دما و فشار. تعدادی از این مکانیسم ها معمولاً در حال بازی هستند. انتشار بیشتر زمانی رخ می دهد که پوسته نفوذپذیر یا متخلخل دست نخورده باشد، در حالی که سرعت انتشار به خواص فیزیکی و شیمیایی پوسته و مواد هسته بستگی دارد. نگهدارنده ها در برخی از کاربردها مفید هستند، اما استفاده از آنها باید به دقت کنترل شود. کپسوله سازی موثر مواد فعال زیستی (مانند طعم دهنده ها، اسیدولان ها و چربی ها و مواد فعال زیستی کامل (مانند آجیل، شیرینی و کشمش) را می توان به ترتیب با استفاده از تکنیک های میکرو و ماکرو کپسوله انجام داد. برای مثال، کپسوله سازی پروبیوتیک ها در حباب های آب میوه به عنوان یک نوشیدنی کاربردی با استفاده از هر دو کپسوله کلان و میکرو بسته به اندازه مهره حباب(به ترتیب میلی متر تا سانتی متر و ۱۰۰۰ میکرومتر) به دست آمد. میکروکپسوله سازی همچنین از نظر تحویل دقیق ویتامین و آزادسازی تنظیم شده با هزینه های نسبتاً کم سودمند است، در حالی که تخریب و طعم های بد را به حداقل می رساند و از محصور کردن مخلوط های ویتامین حمایت می کند. بسیاری از مطالعات بیشتر نشان دادند که ریزپوشانی به طور مثبت بر عملکرد بیولوژیکی اجزای مختلف مشتق شده از مواد غذایی تأثیر می گذارد[22].

2.9.نانوکپسولاسیون

نانوکپسوله سازی نشان دهنده پیشرفت قابل توجهی در زمینه کپسوله سازی است که امکان تولید حامل های بسیار کوچک در سطح مقیاس نانو را فراهم می کند . نانوکپسول ها علاوه بر اندازه ذرات کوچکشان، با سطح ویژه بزرگ و تشکیل مؤثر محلول های کلوئیدی پایدار و یکنواخت متمایز می شوند[24]. اندازه های کوچکتر و مساحت سطح بالا باعث افزایش چسبندگی آنها به سلول ها و در نتیجه تحویل مواد فعال زیستی می شود و در نتیجه به طور موثر فراهمی زیستی این ترکیبات را در محصولات غذایی با عملکرد زیستی افزایش می دهد. چندین غذای حیوانی و گیاهی به طور طبیعی حاوی نانو مواد از جمله مواد اصلی شیر (به عنوان مثال، گلبول های چربی و میسل های کازئین)، و همچنین ساختارمولکولی نانو فیبریل های سلولز در سلول های گیاهی، ساختار کریستالی نشاسته بومی و ساختارهای پروتئینی فیبری هستند. در گوشت و ماهی[25]. قطر متوسط میسل های کازئینی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر متغیر است. به اصطلاح "نانو پلیمرها" به عنوان ابزار قدرتمندی در بخش مواد غذایی در طول دو دهه گذشته ظهور کرده اند که منجر به توسعه مواد جدید در اندازه نانو شده است که برای تقویت خواص ارگانولپتیکی، تغذیه ای و عملکردی محصولات غذایی و همچنین توسعه آنها طراحی شده است. ایمنی مواد غذایی و بسته بندی بسیاری از خواص در مقیاس کلان مانند بافت را می توان از طریق دستکاری در مقیاس نانو مولکول ها و ذرات غذا مهندسی کرد[26]. در این زمینه، نانوکپسوله سازی به طور کلی شامل تولید ترکیبات محصور شده در مقیاس نانو (۱۰۰ نانومتر) با پلیمرهای زیستی حامل است که یک لایه یا لایه محافظ در اطراف مواد کاربردی و با ارزش بالا مانند ترکیبات طعم دهنده و ضد میکروبی ایجاد می کند تعداد فزاینده ای از مطالعات به کاربردهای آینده نگر نانوکپسوله سازی در صنایع غذایی و مواد غذایی پرداخته اند. یکی از پیشرفت های بسیار امیدوارکننده در این زمینه، طراحی بهینه مواد چند منظوره است. به عنوان مثال، نانوکپسوله شدن روغن سیر در فیلم خوراکی باعث افزایش ماندگاری سوسیسهای بسته بندی شده در خلاء می شود. علاوه بر این، نانو و میکرو کپسوله سازی هر دو به عنوان برخی از موثرترین راه ها برای کپسوله سازی ویتامین ها و افزایش عمر مفید آنها در نظر گرفته می شوند[22].

10.فن آوری های کپسولاسیون

چندین روش میکرو و نانوکپسوله بسته به ماهیت هسته فعال و استفاده مورد نظر از محصولات نهایی بررسی شده است. با کاربردهای مختلف از مواد غذایی، داروسازی، کشاورزی، نساجی، کاغذ و سایر صنایع مرتبط توضیح داده شده اند. تکنیک های کپسول سازی را می توان به سه ژانر اصلی طبقه بندی کرد: روش های شیمیایی (به عنوان مثال، پلیمریزاسیون سطحی، کمپلکس سازی و امولسیون سازی)، فیزیکی -شیمیایی(مانند کواسرواسیون پیچیده، گیر افتادن لیپوزوم و امولسیون)، و روش های فیزیکی-مکانیکی (مانند اسپری). خشک کردن، خنک کننده اسپری، اکستروژن، پوشش بسترسیال و روشهای الکترودینامیک پیچیدگی های این روشها متغیر است. در امتداد این طیف، اساسی ترین روش های کپسوله سازی که در صنایع غذایی اجرا می شوند شامل پوشش یک ماده فعال زیستی با تابه، اسپری یا بستر سیال و به دنبال آن خشک کردن است. روش های دیگر شامل امولسیون کردن مواد هسته(مثلاًاسانس یا محلول آنزیمی) با محلولی حاوی مواد پوششی، معمولاً یک پلی ساکارید، یک پروتئین یا هم افزایی آنها، و سپس خشک کردن برای به دست آوردن مواد محصور شده به صورت پودر برای حمل و نگهداری آسان است. خشک کردن با اسپری یکی از پرکاربردترین فناوری ها برای کپسوله کردن مواد فعالزیستی مواد غذایی است زیرا کار با آن نسبتاً مقرون به صرفه و ساده است .روش های دیگری از جمله پوشش بستر سیال، خنک سازی اسپری، اکستروژن و کواسرواسیون نیز رایج هستند[22].

11.انواع پروتئین حامل

انواع مختلفی از حامل ها برای کپسوله کردن ترکیبات زیست فعال در خشک کردن اسپری استفاده می شود. مهم ترین ویژگی های محصورکننده ها و حامل های مورد استفاده در صنایع غذایی عبارتند از: مواد غذایی، مقرون به صرفه بودن، حل پذیری بالا، خواص عملکردی معتبر و زیست تخریب پذیری. رفتار رئولوژیکی خوب، پراکندگی ماده زیست فعال در ماتریس حامل، عدم واکنش شیمیایی مخرب بین حامل و هسته، ایجاد پوشش پایدار در طول فرآیند، آزادسازی کنترل شده ترکیب فعال زیستی (بسته به اهداف کپسوله سازی) و حداکثرتثبیت ترکیبات زیست فعال در برابر عوامل محیطی مخرب در طول ذخیره سازی متداول ترین حامل ها برای کپسوله سازی ترکیبات زیست فعال در خشک کردن اسپری دو گروه هستند: حامل های مبتنی بر پلی ساکارید و حامل های مبتنی بر پروتئین[27].

12.حامل مبتنی بر پلی ساکارید

بیوپلیمرها یا کربوهیدرات های مبتنی بر پلی ساکارید میتوانند در ترکیب با پروتئین ها استفاده شوند.در طبیعت از جمله نشاسته و مشتقات آن مانند MD و سیکلودکسترین ها، سلولز و مشتقات آن، پکتین، کیتوزان، آلژینات ها و صمغ های مختلف مانند صمغ های عربی و ایرانی یافت می شوند[28].

1.12.نشاسته و مشتقات

به طور طبیعی فاقد فعالیت امولسیون کنندگی و فعالیت سطحی هستند. از دیگر معایب می توان به ظرفیت کم این حامل ها برای حفظ ترکیبات فرار و ترکیبات زیست فعال آبگریز اشاره کرد. با این حال، اصلاح ساختاری، فیزیکوشیمیایی و آنزیمی و تولید نشاسته های هیدرولیز شده، اکسید شده، پیوندی متقابل و استیله باعث بهبود خواص عملکردی این حامل ها می شود. یکی از مهمترین حامل های مورد استفاده در ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال، است که محصول هیدرولیز جزئی نشاسته است. حلالیت بالا، قابلیت هضم، طعم خنثی و ویسکوزیته کم از مهمترین ویژگی های این حامل می باشد. محصولات اصلاح آنزیمی نشاسته شاملβ ، γ-وα سیکلودکسترین ها با ساختار مخروطیو سوراخ داخلی آبگریز است که توانایی خوبی برای به دام انداختن ترکیبات فعال زیستی چربی دوست مانند ویتامین های محلول در چربی، رنگ ها، ترکیبات طعم دهنده و اسانس ها دارند. برخی از معایب اصلی عبارتند از :نشاسته(ظرفیت امولسیون کنندگی

ضعیف)، نشاسته اصلاح شده (اصلاحات مختلف باعث ایجاد تغییرات در خصوصیات رئولوژیکی نشاسته)، مالتودکسترین (ظرفیت امولسیون کنندگی ضعیف) و سیکلودکسترین ها (قابلیت استفاده بالا) [30].

2.12.سلولز

سلولز به دلیل حلالیت کم در آب، توانایی محدودی در نگهداری و ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال دارد. اما ساختارهای اصلاح شده مختلف مانند کربوکسی متیل سلولزو سدیم کربوکسی متیل سلولز ظرفیت بهتری در افزایش پایداری و فراهمی زیستی ترکیبات مختلف مانند آنزیم ها دارند[29].

3-12.پکتین

به عنوان یک پلی ساکارید استخراج شده از دیواره های سلولی گیاه، می تواند درریزپوشانی ترکیبات زیست فعال مانند پلی فنل ها نیز استفاده شود. یا به عنوان کمک خشک کردن همراه با سایر مواد حامل برای خشک کردن محصولات چسب [29].

4.12.کیتوزان

به دلیل فعالیت ضد باکتریایی، زیست تخریب پذیری و زیست سازگاری، کیتوزان به طور فزاینده ای برای کپسوله کردن ترکیبات زیست فعال استفاده می شود .همچنین به دلیل غیر سمی بودن، به عنوان یک افزایش دهنده جذب برخی از ترکیبات دارویی نیز در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال می توان به کاربرددر ریزپوشانی و تثبیت ویتامین های محلول در آب به عنوان مثال، ویتامین C ، آنتی اکسیدان هایی مانند گلوتاتیون، و افزایش فراهمی زیستی و پایداری عصاره های پلی فنلی مانند عصاره چای سبز اشاره کرد. [29].

5.12.صمغ عربی

یک پلیمر محلول در آب با دمای انتقال شیشه بالا و ویسکوزیته کم است. فعالیت امولسیون کنندگی این حامل به دلیل وجود پروتئین آن است که آن را برایریزپوشانی برخی از ترکیبات زیست فعال چربی دوست از جمله ترکیبات طعم دهنده،آنتی اکسیدان ها، روغن ها و اولئورزین ها مناسب می کند. سایرکربوهیدرات ها: علاوه بر پلی ساکاریدهای مشخص شده، برخی از آنها نیز به عنوان حامل یا مواد دیواره برای کپسوله کردن ترکیبات فعال زیستی در خشک کردن اسپری استفاده می شوند، از جمله اینولین، برخی صمغ های دیگر مانند صمغ ایرانی و صمغ کهور، آلژینات سدیم، قندهای ساده، سوربیتول، مانیتول و دی ساکاریدها مانند ترهالوز،ساکارز و لاکتوز.(قندهای ساده یا دی ساکاریدها برای تثبیت پپتیدهای درمانی و تولید پودرهای قابل استنشاق استفاده شده است[29].

13.حامل مبتنی بر پروتئین

ازآنجایی که این حامل ها از منابع طبیعی (گیاهان و جانوران) استخراج می شوند، تمایل روزافزونی به استفاده از آنها در صنعت وجود دارد. در بین منابع مختلف، پروتئین های گیاهی دارای خواص آبگریز بهتر و همچنین سمیت کم، حساسیت زایی و هزینه کمتر در درمقایسه با انواع حیوانی هستند[29] .

1.13.پروتئین حیوانی

کازئین: پروتئین های شیر به طور گسترده ای شناخته شده و به عنوان منبع پپتیدهای مغذی، عملکردی و زیست فعال مورد استفاده قرار می گیرند. در بین پروتئین های شیر، کازئین ها گروه اصلی پروتئین های محلول شیر هستند که حدود ۸۰ درصد ازکل پروتئین را تشکیل می دهد. ظرفیت این گروه از حامل های پروتئین در کپسولاسیون به طور قابل توجهی تحت تأثیر ساختار آنها است. به این ترتیب، ذرات کلوئیدی (میسل های کازئین) می توانندترکیبات آبگریز را در ساختار خود به دام بیندازند. سایر ساختارهای اصلاح شده کازئین شامل کازئینات سدیم و کلسیم است. این گروه از کازئین ها با حلالیت آب بالا باعث بهبود پایداری ترکیبات زیست فعال آبگریز می شوند[31].

پروتئینهای آب پنیر: یکی از مهم ترین محصولات جانبی صنایع لبنی پروتئین های آب پنیر می باشد. با آمفی فیلیک، بیولوژیکی و فعالیت امولسیون کننده، شکل پذیری فیلم و پوشش بالا، این پروتئین ها به طور گسترده در کپسوله سازی ترکیبات فعال زیستی مختلف و محصولات پروبیوتیک غنی از آب پنیر مانندآب میوه ها استفاده می شوند[31].

ژلاتین: از کلاژن حیوانی با استفاده از عملیات حرارتی یا روش های هیدرولیزآنزیمی، اسیدی و قلیایی به دست می آید.(مهمترین خواص ژلاتین زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری بالا، حلالیت خوب در آب، فعالیت امولسیون کنندگی و شکل پذیری فیلم است. این مزایا باعث شده است که از این حامل برای خشک کردن اسپری و تثبیت ترکیبات آنتی اکسیدانی مختلف استفاده شود. به عنوان مثال، ژلاتین در ترکیب با صمغ عربی MDو ایزوله پروتئین سویا SPI برای تثبیت رنگدانه زعفران و کازئین هیدرولیز شده استفاده شد[31].

2.13.پروتئین های گیاهی

پروتئین سویا: امروزه با استفاده از پروتئین های گیاهی و کاربرد تجاری آنها به دلیل داشتن خواصی مانند حساسیت زایی کمتر مورد توجه بیشتر صنایع غذایی قرار گرفته است.یکی از مهمترین منابع پروتئین گیاهی با ارزش بیولوژیکی و تغذیه ای بالا، پروتئین سویا است که دارای خواص عملکردی خوبی مانند فعالیت امولسیون کنندگی، قابلیت جذب و اتصال آب به روغن و حفظ ترکیبات زیست فعال آبگریز و آبدوست می باشد. به دلیل شکل پذیری فیلم و فعالیت سطحی، کاربرد پروتئین های سویا در ترکیب با پلی ساکاریدها، کارایی آن ها را در حفظ و تثبیت ترکیبات زیست فعال افزایش داده است. به عنوان مثال، پروتئین سویا به صورت جداگانه یا همراه با پلی ساکاریدها برای ریزپوشانی روغن ها و اولئورزین های مختلف، آنتوسیانین ها، کاروتنوئیدهاو انواع پپتیدهای فعال زیستی استفاده شده است. پروتئین های دیگری نیز به عنوان حامل برای ریزپوشانی و تثبیت ترکیبات فعال زیستی استفاده می شوند. مهمترین آنها شامل پروتئین گندم (با حلالیت کم در آب و شکل پذیری فیلم و ژل خوب) می باشد. زئین یا پرولامین ذرت (به عنوان یک ترکیب زیست سازگار،زیست تخریب پذیر و نامحلول در آب) پروتئین های جو (پروتئین های آبگریز با فعالیت امولسیون کنندگی بالا و شکل پذیری فیلم) پروتئین سیب زمینی (یک ترکیب آمفی دوست محلول در آب با قابلیت شکل پذیری فیلم و کف کردن عالی) پروتئین آمارانت (یک منبع کم هزینه با ظرفیت نگهداری آب بالا، شکل پذیری فیلم،فعالیت امولسیون کنندگی بالا و قابلیت کف کردن) و سایرپروتئین های گیاهی با ارزش غذایی بالا از منابعی مانند حبوبات، عدس، نخود، برنج، ماش و آفتابگردان که می توانند برای کپسوله سازی ترکیبات فعال زیستی با خشک کردن اسپری استفاده شوند[32].

14.بحث و نتایج

کپسولاسیون پروبیوتیک ها با روش الکتروهیدرودینامیک (EHD) راندمان زنده مانی باکتری های مفید را افزایش می دهد. ضمن اینکه با توانایی خود در محصور کردن پروبیوتیک ها با استفاده از میدان الکتریکی، مسیرهای جدیدی را برای فناوری های کپسوله سازی پروبیوتیک ها باز کرده است این فرآیندها از میدان های الکتریکی استفاده می کنندکه می توانند با استفاده از پراکندگی های آبی، در دمای اتاق بدون گرما، و بدون تأثیر بر زنده ماندن سلول های زنده کار کنند. این فرآیند در خشک شدن سریع با مواد غذایی سازگاراست و امکان کپسولاسیون با کارایی بالا و پایدار را فراهم می کند. از میان پلیمر های زیستی ، زئین درصنعت داروسازی به دلیل غیر سمی، آبگریزی، محلول در مخلوط های دوتایی آب با الکل ها، گلیکول ها و استون، توانایی خودآرایی در ساختارهای میکرو و نانو، مانند وسایل نقلیه برای سیستم های دارورسانی.که می تواند ساختارهای وابسته به قطبیت pH و محیطی (فیلم ها، نانوکپسولها و غیره) را ایجاد کند. قابلیت هضم کم، که یک جنبه مهم برای تجویز خوراکی دارو است ایمن شناخته می شود (GRAS). ازآنجایی که آگاهی زیست محیطی مصرف کنندگان سال به سال درحال افزایش است و فرایند الکتروریسی نیازمند حجم زیادی از حلال می باشد استفاده از حلال های سبز مانند استیک اسید، متانول و اتانول(تحت عنوان حلال سبز) در کپسولاسیون پروبیوتیک ها با دیواره های پلیمری مانند زئین تاثیر مثبتی

بر پایداری فرایند داشته ضمن اینکه زنده مانی باکتری پروبیوتیک حفظ شده تا نقش خود را در رسیدن به دستگاه گوارش به خوبی ایفا کند.

15. منابع

[1] موفق و همکاران ۱۳۹۷. استفاده از نانوالیاف حاصل از الکتروریسی زئین به عنوان نانوحامل وانکومایسین: بررسی ویژگیها، آزادسازی و خاصیت ضد میکروبی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۵ (۸۰) :۱۹۹-۲۱۲

[2] رحمتی نیا و همکاران ۱۴۰۰. نانوالیاف حاصل از الکتروریسی زئین به عنوان نانوحامل اسانس اکالیپتوس: بررسی ویژگی‌ها و خاصیت ضد میکروبی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. دوره ۱۸ ، شماره ۱۲۱، ۹۱-۸۱

[3] Zhu, Y., Wang, Z., Bai, L., Deng, J., & Zhou, Q. (2021). Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. *Materials & Design*, *210*, 110018

[4] Ajalloueian, F., Guerra, P. R., Bahl, M. I., Torp, A. M., Te Hwu, E., Licht, T. R., & Boisen, A. (2022). Multi-layer PLGA-pullulan-PLGA electrospun nanofibers for probiotic delivery. *Food Hydrocolloids*, *123*, 107112.

[5] Gómez-Guillén, M. C., & Montero, M. P. (2021). Enhancement of oral bioavailability of natural compounds and probiotics by mucoadhesive tailored biopolymer-based nanoparticles: A review. *Food Hydrocolloids*, *118*, 106772.

[6] Azizi, S., Rezazadeh-Bari, M., Almasi, H., & Amiri, S. (2021). Microencapsulation of Lactobacillus rhamnosus using sesame protein isolate: Effect of encapsulation method and transglutaminase. *Food Bioscience*, *41*, 101012.

[7] Sharma, M., Wasan, A., & Sharma, R. K. (2021). Recent developments in probiotics: An emphasis on Bifidobacterium. *Food Bioscience*, *41*, 100993.

[8] Romero-Chapol, O. O., Varela-Pérez, A., Castillo-Olmos, A. G., García, H. S., Singh, J., García-Ramírez, P. J., ... & Cano-Sarmiento, C. (2022). Encapsulation of Lacticaseibacillus rhamnosus GG: Probiotic Survival, In Vitro Digestion and Viability in Apple Juice and Yogurt. *Applied Sciences*, *12*(4), 2141.

[9] CAMPOS-ESPINOZA, F., CASTAÑO-AGUDELO, J., & RODRIGUEZ-LLAMAZARES, S. (2022). Polysaccharides systems for probiotic bacteria microencapsulation: mini review. *Food Science and Technology*, *42*.

[10] gharslaviVickers, N. J**.** (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?. *Current biology*, *27*(14), R713-R715.

[11] Ceylan, Z., Kutlu, N., Meral, R., Ekin, M. M., & Kose, Y. E. (2021). Protective effect of grape seed oil-loaded nanofibers: Limitation of microbial growth and lipid oxidation in kashar cheese and fish meat samples. *Food Bioscience*, *42*, 101076.

[12] Avossa, J., Herwig, G., Toncelli, C., Itel, F., & Rossi, R. M. (2022). Electrospinning based on benign solvents: current definitions, implications and strategies. *Green Chemistry*.

[13] Barajas-Álvarez, P., González-Ávila, M., & Espinosa-Andrews, H. (2021). Recent advances in probiotic encapsulation to improve viability under storage and gastrointestinal conditions and their impact on functional food formulation. *Food Reviews International*, 1-22.

[14] Mendes, A. C., & Chronakis, I. S. (2021). Electrohydrodynamic encapsulation of probiotics: A review. *Food Hydrocolloids*, *117*, 106688

[15] Wei, L., Zhou, D., & Kang, X. (2021). Electrospinning as a novel strategy for the encapsulation of living probiotics in polyvinyl alcohol/silk fibroin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *71*, 102726.

[16] Sánchez-Beltrán, H., Rodríguez, C. M., Triviño, J. B., Iglesias-Rey, P. L., Valderrama, J. S., & Martínez-Solano, F. J. (2017). Characterization of modular deposits for urban drainage networks using CFD techniques. *Procedia Engineering*, *186*, 84-92.

[17] Wang, M., Li, D., Li, J., Li, S., Chen, Z., Yu, D. G., ... & Guo, J. Z. (2020). Electrospun Janus zein–PVP nanofibers provide a two-stage controlled release of poorly water-soluble drugs. *Materials & Design*, *196*, 109075.

[18] Caporgno, M. P., & Mathys, A. (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in nutrition*, *5*, 58.

[19] Amiri, S., Teymorlouei, M. J., Bari, M. R., & Khaledabad, M. A. (2021). Development of Lactobacillus acidophilus LA5-loaded whey protein isolate/lactose bionanocomposite powder by electrospraying: A strategy for entrapment. *Food Bioscience*, *43*, 101222.

[20] Rashidi, L. (2021). Different nano-delivery systems for delivery of nutraceuticals. *Food Bioscience*, *43*, 101258.

[21] Paredes, A. J., Asensio, C. M., Llabot, J. M., Allemandi, D. A., & Palma, S. D. (2016). Nanoencapsulation in the food industry: manufacture, applications and characterization.

[22] Alu'datt, M. H., Alrosan, M., Gammoh, S., Tranchant, C. C., Alhamad, M. N., Rababah, T., ... & Tan, T. C**.** (2022). Encapsulation-based technologies for bioactive compounds and their application in the food industry: A roadmap for food-derived functional and health-promoting ingredients. *FOOD BIOSCIENCE*, *50*.

[23] gharslaviVickers, N. J. (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?. *Current biology*, *27*(14), R713-R715.

[24] Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Nanoencapsulation: Techniques and developments for food applications. In *Nanomaterials for food applications* (pp. 35-61). Elsevier.

[25] Handford, C. E., Dean, M., Henchion, M., Spence, M., Elliott, C. T., & Campbell, K. (2014). Implications of nanotechnology for the agri-food industry: opportunities, benefits and risks. *Trends in Food Science & Technology*, *40*(2), 226-241.

[26] Bratovcic, A., & Suljagic, J**.** (2019). Micro-and nano-encapsulation in food industry. Croat J Food Sci Technol 11 (1): 113–[21

[27] Anand, U., Tudu, C. K., Nandy, S., Sunita, K., Tripathi, V., Loake, G. J., ... & Proćków, J. (2022). Ethnodermatological use of medicinal plants in India: from ayurvedic formulations to clinical perspectives–a review. *Journal of ethnopharmacology*, *284*, 114744.

[28] Ahmad, A., Gulraiz, Y., Ilyas, S., & Bashir, S. (2022). Polysaccharide based nano materials: Health implications. *Food Hydrocolloids for Health*, 100075.

[29] Dohendou, M., Pakzad, K., Nezafat, Z., Nasrollahzadeh, M., & Dekamin, M. G. (2021). Progresses in chitin, chitosan, starch, cellulose, pectin, alginate, gelatin and gum based (nano) catalysts for the Heck coupling reactions: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *192*, 771-819.

[30] Qin, S., Zhang, K., Ding, X., Bai, S., Wang, J., Tian, G., ... & Zeng, Q. (2023). Microbiome-metabolomics analysis insight into the effects of dietary resistant starch on intestinal integrity. *Food Chemistry*, *401*, 134148.

[31] Qin, P., Wang, T., & Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, *7*, 100265.

[32] Hadidi, M., Jafarzadeh, S., Forough, M., Garavand, F., Alizadeh, S., Salehabadi, A., ... & Jafari, S. M. (2022). Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*.