یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

زیست پلیمرهای طبیعی و مصنوعی در بسته‌بندی مواد غذایی

زهرا علی‌اصغرزاده[۱]، دکتر جابر خانجانی[۲]

[۱]دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)ـ مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین‌زهرا، بویین‌زهرا
zahraaliasgharzadehh@gmail.com
[۲] دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)ـ مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین‌زهرا، بویین‌زهرا jaber.khanjani@gmail.com

چکیده

هر ساله مقدار بسیار زیادی پلاستیک در سراسر جهان تولید می‌شود، حجم زیادی از آن‌ها دور انداخته می‌شود و مقدار زیادی زباله پلاستیکی به محیط زیست وارد شده و تجمع می‌یابند. این امر موجب ایجاد مشکلات زیست محیطی شده‌است. در حال حاضر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در زمینه‌هایی مانند بسته‌بندی مواد غذایی مورد پذیرش واقع شده‌اند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به جهت دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل هزینه کم، دسترس پذیری و پایداری گرمایی مناسب به عنوان ماده اصلی در تولید بسته‌بندی‌ها استفاده می‌شوند. زیست پلیمرها از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند، بنابراین زیست تخریب‌پذیر می‌باشند. جایگزینی کامل پلاستیک‌ها با فیلم‌های بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر، غیر ممکن می‌باشد. در این مقاله به زیست پلیمرهای طبیعی و مصنوعی مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی پرداخته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

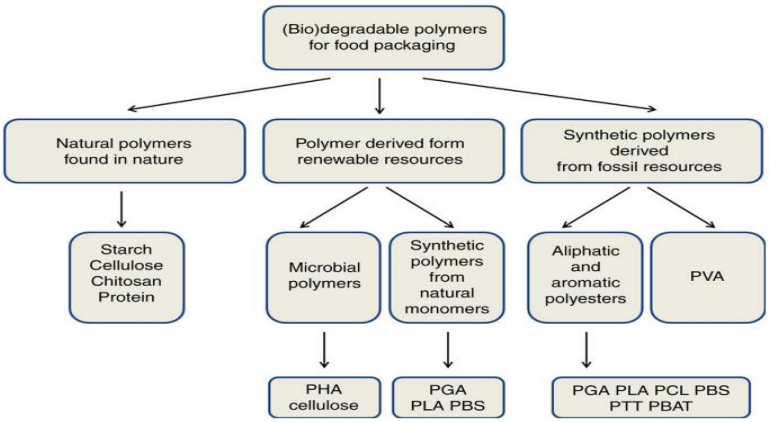
پلاستیک، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر، بسته‌بندی مواد غذایی، جایگزینی، زیست محیطی.

۱. مقدمه

امروزه پلیمرها به دلیل ویژگی‌های مطلوبی همچون ثبات، جهندگی و سهولت در تولید بخش مهمی از زندگی روزمره را تشکیل می‌دهند [۱]. روش‌های مختلفی برای حفظ کیفیت و سلامت میکروبی مواد غذایی وجود دارد که بسته‌بندی مواد غذایی یکی از این روش‌ها است [۲]. هدف کلی بسته‌بندی مواد غذایی، حفظ کیفیت و سلامت غذا از زمان تولید تا زمان استفاده توسط مصرف کنندگان است. همچنین بسته بندی باعث محافظت مواد غذایی از آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی می‌شود [۳]. پلاستیک‌ها در زندگی روزمره نقش مهمی دارند و در سراسر نقاط جهان از منطقه‌های گرم تا نواحی سرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارزان هستند و خاصیت مکانیکی مناسبی دارند [۴]. با این حال پلاستیک‌ها به مشکل در محیط زیست تبدیل شده‌اند، زیرا پایداری آن‌ها در محیط زیست بیش از یک عمر پیش‌بینی شده‌است [۵]. تولید پلاستیک‌ها، فرآیندهای تمام کننده انرژی هستند، که منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs)[1] بسیار زیادی می شود [۱]. در سال‌های اخیر بیوپلاستیک‌ها جایگزینی برای مهار تهدید پلاستیک‌ها به شمار می‌آیند و سازمان بیوپلاستیک اروپا اعلام کرده است که ماده پلاستیکی زمانی به عنوان بیوپلاستیک شناخته می‌شود که دارای پایه زیستی، زیست تخریب‌پذیر و یا هر دو باشد. جایگزینی پلاستیک‌های نفتی با پلیمرهای زیستی منصفانه است [۶]. بیوپلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد، نوآوری‌های جدید و کلیدی هستند که می‌توانند در کاهش اثرات پلاستیک‌ها موثر واقع شوند [۷]. اکثر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر از پلی لاکتیک اسید، پلی استر و ترکیبات نشاسته ساخته می‌شوند [۸].

۲. پلیمرهای زیست تخریب پذیر موجود در بسته بندی مواد غذایی

امروزه مقدار محدودی از بسته‌بندی‌های مورد استفاده در صنعت مواد غذایی، از زیست پلیمرها می‌باشد. موادی که تا کنون برای پوشش‌ها، فیلم‌ها و برچسب‌ها استفاده شده‌است، دارای منشا سوخت فسیلی می‌باشند. در صورت جایگزین کردن آن‌ها با مواد پلیمری که زیست تجزیه پذیر می‌باشند، گامی بلند در جهت حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی‌ها، برداشته شده‌است [۹]. در بسته‌بندی، از پلیمرهای طبیعی و یا مصنوعی تجزیه‌پذیر استفاده می‌شود. با توجه به منشاء پلیمرها، آن‌ها را می‌توان به پلیمرهای طبیعی، مصنوعی و اصلاح شده طبقه بندی کرد. از نظر زیست محیطی، طبقه بندی بر اساس مواد اولیه است: منابع تجدیدپذیر (بیولوژیکی) و منابع تجدید ناپذیر (نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ) شکل ۱ [۱۰].



شکل ۱. دسته بندی پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی [۱۱]

[1] Greenhouse Gases

۱.۲. زیست پلیمرهای طبیعی

همه پلیمرهای طبیعی به دلیل منشاء طبیعی خود، تجزیه‌پذیر هستند و آن‌ها می‌توانند عمل تخریب را تسریع بخشند تا تعادل طبیعت حفظ شود. محصولات طبیعی و همچنین ترکیبات مشتق شده از محصولات طبیعی، نقش مهمی در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی ایفا می‌کنند. خواص مفید این پلیمرها زیست تخریب‌پذیری آن‌ها است. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر خواص دیگری هم مانند؛ ضد میکروب و آنتی اکسیدان، منشا تجدیدپذیر و هزینه نسبتا کم، دارند. در حقیقت آن‌ها هیچ گونه تاثیر منفی بر محیط زیست ندارند [۱۲].

۱.۱.۲. نشاسته

نشاسته یک کربوهیدرات پلیمری است که توسط بسیاری از گیاهان مانند ذرت، سیب زمینی و گندم در اندازه‌های ۰/۵ تا ۱۷۵ میکرومتر تولید می‌شود. این ماده به خاطر زیست تخریب‌پذیری، عدم سمیت، در دسترس بودن و تجدیدپذیری، از مواد زیستی محسوب می‌شود [۱۳]. فیلم‌های مبتنی بر نشاسته در رطوبت‌های نسبتاً پایین، نفوذپذیری بسیار کمی نسبت به اکسیژن نشان می‌دهند و همچنین آن‌ها بی‌مزه، بی‌بو و بی‌رنگ هستند [۱۴]. با توجه به شکننده بودن فیلم نشاسته در بسته‌بندی مواد غذایی، از نرم‌کننده‌های معمول مانند سوربیتول، زایلیتول و گلیسرول استفاده می‌شود. نشاسته همچنین می‌تواند با اصلاح ژنتیکی و شیمیایی یا ترکیب با موادی مانند پلی وینیل الکل (PVA)، پلی کاپرولاکتون (PCL) نرم شود [۱۵]. مخلوط نشاسته و PCL، با گلیسرول و اسید سیتریک به عنوان سازگار کننده، خواص بهتری نسبت به فیلم نشاسته ساده دارند و نشان می‌دهند که حتی با استفاده از مقدار کمی PCL، T_g کاهش می‌یابد و محافظت در برابر ورود بخار آب به بسته‌های مواد غذایی کاهش می‌یابد [۱۶].

۲.۱.۲. سلولز

سلولز از رایج‌ترین بیوپلیمرها در طبیعت است. آن در تمام مواد گیاهی، برخی آمیب‌ها، حیوانات دریایی، باکتری‌ها و قارچ‌ها یافت می‌شود [۱۷]. مولکول‌های این پلیمر، حلالیت ضعیف و ساختار بسیار بلوری دارند، بنابراین استفاده از آن‌ها در بسته‌بندی دشوار است. در سال‌های اخیر تحقیقات بر روی استفاده از مشتقات سلولز برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی متمرکز شده‌است؛ به عنوان مثال، استات سلولز مشتق‌شده، به طور گسترده به عنوان بسته‌بندی غذا برای محصولات تازه و غذاهای پخته‌شده استفاده می‌شود [۱۸].
فیلم نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات نقره به اندازه ۴۱ نانومتر می‌تواند به عنوان ماده ضد میکروبی فعال برای بسته‌بندی غذا استفاده شود. محققان فیلم کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر را با استفاده از الیاف سلولز اصلاح شده و تقویت شده با PVA تهیه کردند. بررسی‌ها نشان داد که سلولز اصلاح شده نقش مهمی در افزایش استحکام کششی کامپوزیت‌ها دارد. فیلم کامپوزیت سلولز اصلاح شده، می‌تواند در بسته‌بندی مواد استفاده شود [۱۹].

۳.۱.۲. کیتوسان

کیتوسان[1] (CS) یک پلی‌ساکارید کاتیونی، غیر سمی و خطی است. از نظر تجاری، آن با اِن-دی استیله کردن شیمیایی کیتین، که جزئی از پوسته سخت پوستان دریایی است، تهیه می‌شود [۲۰]. علاوه بر این، کیتوسان بسته به نسبت باقی مانده‌های اِن استیل دی گلوکوزآمین و دی گلوکوزآمین، خواص بیولوژیکی و زیست تخریب‌پذیری متفاوتی دارد. به عنوان یک ماده بسته‌بندی، CS ویژگی‌های بسیار ارزشمند و خواص مکانیکی عالی دارد. پلیمر به طور کامل یا جزئی، در آب حل می‌شود و توانایی تشکیل فیلم بدون استفاده از مواد افزودنی دیگر را دارد و نسبت به گرما مقاوم است. CS نفوذپذیری خوبی نسبت به اکسیژن و کربن دی‌اکسید دارد [۱۱]. علاوه بر این، کیتوسان دارای فعالیت ضد میکروبی است و می‌تواند برای افزایش عمر ماندگاری غذا و به عنوان بخشی از فیلم‌های خوراکی زیست تخریب‌پذیر برای غذا مورد استفاده قرار گیرد [۲۱]. غشا کیتوسان برای بسته‌بندی میوه‌های تازه مانند توت فرنگی، توت و انگور استفاده می‌شود [۲۲].

۴.۱.۲. وی پروتئین

[1] Chitosan

پروتئین‌های وِی[1] (WP) قادر به تشکیل فیلم‌های انعطاف‌پذیر هستند و به دلیل نفوذپذیری متوسط نسبت به رطوبت، مانع خوب در برابر اکسیژن به عنوان ماده خام برای تولید فیلم‌های خوراکی و فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر استفاده می‌شوند [۲۳]. آن‌ها بی‌بو و بی‌مزه هستند. علاوه بر این، پروتئین‌های وِی یکی از رایج‌ترین و ارزان‌ترین مواد خام مورد استفاده در تهیه فیلم‌های خوراکی هستند. فیلم‌های پلاستیکی فرموله شده با استفاده از WP زیست تخریب‌پذیر هستند و مانع بالایی در برابر اکسیژن دارند [۱۱]. پوشش‌های بر پایه پروتئین وِی و مخلوط شده با نرم‌کننده، خواص مانع زدایی بالا و نفوذ پذیری متوسطی در برابر رطوبت دارند [۲۴].

۵.۱.۲. زین

زین ترکیبی از پروتئین‌هایی است که اندازه مولکولی و حلالیت آن‌ها متفاوت است. دارای خواص آب گریز و آب دوست می‌باشد. با این حال، این ماده دارای خواص مکانیکی ضعیفی است اما می‌تواند برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شود، به ویژه به عنوان یک پوشش محافظ در برابر ورود گاز، تجزیه بیولوژیکی و ویژگی‌های زیست سازگاری استفاده می‌شود [۲۵]. فیلم‌های مبتنی بر این پروتئین برای جداسازی لایه‌های غذایی، مانند برش‌های پنیر و پوشش بسیاری از محصولات از جمله میوه‌ها و سبزیجات، آجیل، گوشت و شیرینی‌های پخته‌شده به کار می‌روند [۲۶]. فیلم‌های بر پایه زین همراه با اولئیک اسید، نانوکربنات و گلیسرول به عنوان نرم‌کننده، امکان استفاده برای بسته‌بندی محصولات غذایی را نشان می‌دهند [۲۷]. بالاترین مانع اکسیژن در فیلم‌های زین، با نرم‌کننده گلیسرول نشان‌داده شده‌است، در حالی که بالاترین نفوذپذیری بخار آب در فیلم‌های زین، با PEG به دلیل آب دوستی بالاتر آن به دست آمده‌است [۲۸].

۶.۱.۲. گلوتن

گلوتن گندم[2] (WG) یک پروتئین معمولی غیرقابل حل در آب است. گندم مورد استفاده برای کاربردهای تجاری، از ٪۷۲/۵ پروتئین، ٪۷/۵ چربی کامل، ٪۴/۶ رطوبت و ٪۰/۷ خاکستر تشکیل شده‌است. دانشمندان نانوکامپوزیت‌های شامل WG، نانوکریستال سلولز (CNC) و نانوذرات TiO_2 را از طریق ریخته‌گری و تبخیر تولید کردند. مطالعه بر روی اثر غلظت CNC و TiO_2 بر روی فعالیت ضد میکروبی، خواص مکانیکی و حساسیت به آب نشان داد که بهترین نانوکامپوزیت، شامل ٪۷/۵ CNC و ٪۰/۶ TiO_2 در ترکیب CNC، TiO_2 و WG است که باعث ایجاد فعالیت ضد میکروبی عالی و خواص مکانیکی خوب می‌شود. [۲۹].

دانشمندان خواص حرارتی، مکانیکی و حفاظتی فیلم بسته‌بندی نانوکامپوزیت شامل نانوکریستال سلولز کربوکسیله[3] (CCNC) و گلوتن را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که نفوذپذیری بخار آب و خواص مکانیکی، به غلظت CCNC بستگی دارد. برای فیلمی که حاوی ٪۷/۵ وزنی، CCNC بود؛ WVP[4] کم‌ترین مقدار بود. در صورتی که محدوده استحکام کششی برای فیلمی که حاوی صفر درصد وزنی CCNC بود، ۳/۰۹ مگا پاسکال و برای فیلمی که حاوی ٪۱۰ وزنی CCNC بود، ۵/۴ مگا پاسکال بود و ازدیاد طول تا نقطه شکست برای محتوای صفر تا ٪۱۰ وزنی از CCNC، ٪۲۵۵/۸ تا ٪۳۴۶/۰۱ بود [۳۰]. نتایج نشان دادند که CCNC ها می‌توانند به عنوان تقویت‌کننده و پرکننده برای فیلم‌های بسته‌بندی کامپوزیتی WG مورد استفاده قرار گیرند [۳۱].

۷.۱.۲. پروتئین سویا

پروتئین سویا، پروتئینی است که در دانه‌های سویا یافت می‌شود. پروتئین جداسازی شده سویا[5] (SPI) شکلی بسیار خالص از پروتئین سویا است که از ٪۹۰ پروتئین بدون رطوبت تشکیل شده‌است. SPI ممکن است برای تهیه فیلم‌های بسته‌بندی خوراکی و زیست تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد. فیلم‌های به‌دست‌آمده از SPI، انعطاف‌پذیری بیش از حد نشان می‌دهند، بنابراین عملکرد آن‌ها محدود است. آن‌ها باید با اضافه کردن یک نرم‌کننده مانند گلیسرول، اصلاح شوند [۳۲].

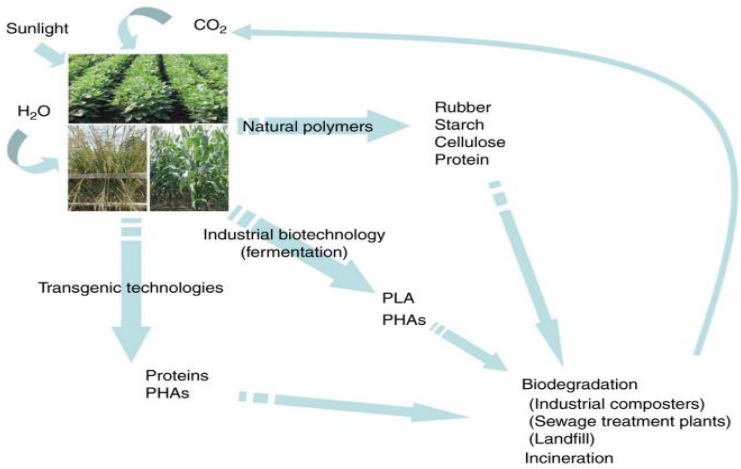
---

[1] WP (Whey Protein)
[2] WG (Wheat Gluten)
[3] Carboxylated Cellulose Nanocrystals
[4] کیفیت عبور بخار از سطح واحد و در زمان مقرر
[5] SPI (Soy Protein Isolate)

محققان فیلم‌های ۲ لایه‌ای زیست تخریب SPI و PLA را تهیه کردند. فیلم‌های تهیه‌شده، دارای شفافیت بالا و چسبندگی میان لایه‌ای قوی هستند. لایه PLA به طور قابل‌توجهی خواص مکانیکی فیلم‌ها را نسبت به فیلم‌های SPI خالص افزایش می‌دهد. علاوه بر این، با ترکیب یک عامل ضد باکتری مانند تیمول یا ناتامیسین به لایه SPI، مهار قابل‌توجهی از رشد باکتری و کپک در طی سنجش‌های میکروبیولوژیکی و شرایط آزمایشگاهی نشان داد. در نتیجه این فیلم دولایه می‌تواند به عنوان یک ماده زیست تخریب‌پذیر برای پوشش‌های غذایی فعال مورد استفاده قرار گیرد [۱۱].

۱.۳. زیست پلیمرهای مصنوعی

مهندسی ژنتیک با دستکاری آنزیم‌های بیوسنتزی، فرصت‌های منحصر به فردی را برای ایجاد آنالوگ‌های غیر طبیعی بیوپلیمرها فراهم می‌کند و امکان اصلاح بیش‌تر پلیمر را فراهم می‌کند شکل ۲ [۳۳]. واحدهای مختلف ترکیب نه تنها به منبع کربن و نوع میکروارگانیسم‌ها، بلکه به نرخ رقیق‌سازی، نسبت کربن به نیتروژن، زمان و دما نیز بستگی دارند [۳۴].



شکل ۲. تولید پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر گیاهی [۱۱]

۱.۱.۳. پلی هیدروکسی آلکانوات

موادی که در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای وظایف متعددی باشند. برای اطمینان از کیفیت ماده، کنترل خواص مکانیکی در طول ذخیره‌سازی مورد نیاز است. ترکیب مونومری کوپلیمرها تاثیر قابل‌توجهی بر خواص موادی که بر پایه پلی هیدروکسی آلکانوات[1] (PHA) هستند، دارد. برای گسترش دامنه مواد با کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی، برخی اصلاحات PHA اتفاق افتاده است. این استراتژی‌ها شامل اصلاح شیمیایی یا آنزیمی پس از سنتز، آماده‌سازی مخلوط‌ها و کامپوزیت‌ها و به دست آوردن فیلم‌های چند لایه است [۳۵]. پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها به پلی استرهایی تعلق دارند که به طور طبیعی توسط میکروارگانیسم‌ها، به عنوان منبع ذخیره کربن تولید می‌شوند. طیف گسترده‌ای از خواص مکانیکی، از بلور سخت تا الاستیک، برخی از مزایای اصلی PHA ها است [۳۶]. PHA ها زیست تخریب‌پذیر هستند و به این ترتیب می‌توانند به عنوان بسته‌بندی غذایی که باید با آلودگی مواد غذایی پس از مصرف دفع شوند، مورد استفاده قرارگیرند [۳۷].

[1] PHA (Polyhydroxyalkanoates)

در طی تولید میکروبی PHA، ماده بدست آمده حاوی مقادیر کمی ناخالصی مانند پروتئین و چربی است [۳۸]. این مقدار کم باقی مانده ممکن است باعث بوی ناخوشایندی در بسته‌بندی، هنگام استفاده از PHA شود [۳۹]. یک روش شیمیایی ساده برای حذف ناخالصی‌های باقی مانده از PHA، ترکیب حلال‌های آلی PHA و آنتی حلال‌ها یا استخراج در فشار بالا به همراه آنتی حلال‌های قدیمی مانند استون، است [۳۵].

PHA قابلیت چاپ، مانع طعم و بو، قابلیت درزگیری گرمایی، مقاومت در برابر روغن از خود نشان می‌دهد. رنگ‌آمیزی آسان PHA، کاربردهای آن را در صنعت غذا بهبود بخشیده است [۴۰]. PHA های با طول زنجیره متوسط را می‌توان به عنوان پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر پنیر، کیسه‌های چمن و برگ، پوشاک یک‌بار مصرف، خدمات فست فود و دستگاه‌های پزشکی یک‌بار مصرف به کار برد [۴۱]. پلی (۳-هیدروکسی بوتیرات) [1] (PHB) اصلی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین نماینده خانواده PHA ها است. بطری‌های زیست تخریب‌پذیر، ظروف، ورقه‌ها، الیاف و پوشش‌ها را می‌توان با استفاده از PHA تولید کرد [۴۲].

متاسفانه، دلیل اصلی اینکه چرا مواد PHA به طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، هزینه آن‌ها است. به همین دلیل است که روش‌های مختلفی برای به دست آوردن کامپوزیت‌های بر پایه PHA به طور مداوم توسعه می‌یابند. مواد پلیمری مخلوط شده با پرکننده‌های ارزان و برخی مواد افزودنی دیگر، به کاهش هزینه و بهبود برخی خواص کمک می‌کنند [۴۳]. به نظر می‌رسد استفاده از DDGS [2] به عنوان پرکننده در ماتریس PHA راه‌حل خوبی در کاهش هزینه کامپوزیت‌ها می‌باشد [۴۴]. هزینه‌های تولید PHA هنوز هم بسیار بالا است و از آن‌ها به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای معمولی استفاده می‌شود. به همین دلیل است که دانشمندان هنوز به دنبال راه حلی جدید برای این مساله هستند. یکی از ایده‌ها، استفاده از فاضلاب صنعت مقوا به عنوان یک محیط کشت برای تولید PHB است [۴۵].

۲.۱.۳. سلولز باکتریایی

سلولز باکتریایی [3] (BC) با تخمیر میکروبی در کشت‌های استاتیک و یا آشفته به دست می‌آید [۴۶]. اخیرا کاربردهای بسته‌بندی ضد باکتریایی در صنایع غذایی و بسته‌بندی، افزایش یافته‌است. استفاده از بسته‌بندی ضد باکتریایی می‌تواند افزودن مستقیم مواد نگهدارنده به محصولات غذایی را کاهش دهد. سلولز باکتریایی تولید شده توسط Acetobacter xylinum به طور گسترده‌ای در فرآوری غذا استفاده می‌شود. هزینه‌های پایین نیز دلیل بسیار مهمی برای استفاده از BC هستند [۴۷]. از فیبرهای سلولز باکتریایی می‌توان در ترکیب با PVA استفاده کرد. می‌توان از موادی که شامل BC و PVA هستند، در بسته‌بندی با ویژگی‌هایی مانند استحکام مکانیکی و زیست تخریب‌پذیری استفاده کرد [۴۸].

۴. نتیجه‌گیری

بیوپلیمرها در زمینه‌های متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر با کاهش منابع نفتی، جایگزین پلیمرهای حاصل از نفت می‌شوند. تولید و استفاده از پلیمرهای بر پایه نفت، علاوه بر منبع آلودگی‌های زیست محیطی، جزو شاخص‌های اساسی در اقتصاد کشورها است. پایداری پلاستیک‌های حاصل از نفت خام، زغال سنگ و گاز طبیعی در محیط زیست، بسیار طولانی پیش‌بینی شده‌است. همه پلیمرهای زیستی، زیست تخریب‌پذیر نیستند و همه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر از مواد خام تجدیدپذیر تولید نمی‌شوند. بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر هر روزه در حال گسترش می‌باشند، یک لایه محافظ طبیعی و تجزیه‌پذیر هستند. آن‌ها به عنوان بسته‌بندی برای غذا مورد استفاده قرار می‌گیرند. زیست پلیمرهای طبیعی که در بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد دارد شامل؛ نشاسته، سلولز، کیتوسان، وی پروتئین، زین، گلوتن و پروتئین سویا می‌باشد. زیست پلیمرهای مصنوعی موجود در بسته‌بندی نیز شامل؛ پلی هیدروکسی آلکانوات و سلولز باکتریایی می‌باشد.

---

[1] PHB (Poly(3-hydroxybutyrate))
[2] Dried Distillers Grain With Solubles
[3] BC (Bacterial Cellulose)

منابع

[1] S. Mangaraj, Ajay Yadav, Lalit M. Bal, S. K. Dash, & Naveen K. Mahanti., 2018. Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. In Journal of Packaging Technology and Research, 3, 1–20.
[2] Hardenburg, R.E. 1967. Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography. Agricultural Research Service Bulletin 51-15.
[3] Dallyn, H. and Shorten, D., 1998. Hygiene aspects of packaging in the food industry. International Biodeteriration. 4-5, 387-392.
[4] Abdul Rahman, W., Rasit Ali, R. and Zakaria, N., 2006. Studies on Biodegradability, Morphology 1st Int Conferences Natural Resource Engineering & Technology ,Malaysia, 434.
[5] Tharanathan, R.N., 2003. Biodegradable Films and Composite Coatings: Past, Present and Future. Trends in Food Science & Technology, 71-78.
[6] Ahvenainen, R., 2003. Novel food packaging techniques. Elsevier, 62–144.
[7] Maharana, T., Mohanty, B., & Negi, Y. S., 2009. Melt–solid polycondensation of lactic acid and its biodegradability. Progress in Polymer Science, 1, 99–124.
[8] Yadav, A., Mangaraj, S., Singh, R., Kumar, N., & Arora, S., 2018. Biopolymers as packaging material in food and allied industry, 2, 2411–2418.
[9] Halek, G. W. 1988. Relationship between polymer structure and performance in food packaging applications, Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 195–202.
[10] Rydz, J., Sikorska, W., Kyulavska, M., & Christova, D., 2015. Polyester-based (bio) degradable polymers as environmentally friendly materials for sustainable development. International Journal of Molecular Sciences, 1, 564–596.
[11] Rydz, J., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., & Sikorska, W., 2018. Present and future of biodegradable polymers for food packaging applications. Biopolymers for Food Design, 14, 431–467.
[12] Sam, S. T., Nuradibah, M. A., Ismail, H., Noriman, N. Z., & Ragunathan, S., 2014. Recent advances in polyolefins/natural polymer blends used for packaging application. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 6, 631–644.
[13] Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A., 2015. Bioplastics and food packaging: A review. Cogent Food & Agriculture, 1, 1–7.
[14] The, D. P., Debeaufort, F., Voilley, A., & Luu, D., 2009. Biopolymer interactions affect the functional properties of edible films based on agar, cassava starch and arabinoxylan blends. Journal of Food Engineering, 4, 548–558.
[15] Lu, D. R., Xiao, C. M., & Xu, S. J., 2009. Starch-based completely biodegradable polymer materials. Express Polymer Letters, 6, 366–375.
[16] Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliardi, S., Talens, P., & Chiralt, A., 2016. Influence of citric acid on the properties and stability of starch-polycaprolactone based films. Journal of Applied Polymer Science, 2, 1–16.
[17] Kamel, S., Ali, N., Jahangir, K., Shah, S. M., & El-Gendy, A. A., 2008. Pharmaceutical significance of cellulose: a review. Express Polym Lett, 11, 758–778.
[18] Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., Van Impe, F., & Devlieghere, F., 2013. Application of bioplastics for food packaging. Trends in Food Science & Technology, 2, 128–141.
[19] Laxmeshwar, S. S., Madhu Kumar, D. J., Viveka, S., & Nagaraja, G. K., 2012. Preparation and properties of biodegradable film composites using modified cellulose fibre-reinforced with PVA. International Scholarly Research Notices, 1–8.
[20] Rabea, E. I., Badawy, M. E.-T., Stevens, C. V, Smagghe, G., & Steurbaut, W., 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. Biomacromolecules, 6, 1457–1465.
[21] Srinivasa, P. C., Ramesh, M. N., & Tharanathan, R. N., 2007. Effect of plasticizers and fatty acids on mechanical and permeability characteristics of chitosan films. Food Hydrocolloids, 7, 1113–1122.
[22] Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M., 2015. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. Foods, 4, 501–523.
[23] Ramos, Ó. L., Silva, S. I., Soares, J. C., Fernandes, J. C., Poças, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X., 2012. Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. Food Research International, 1, 351–361.
[24] Popović, S., Peričin, D., Vaštag, Ž., Lazić, V., & Popović, L., 2012. Pumpkin oil cake protein isolate films as potential gas barrier coating. Journal of Food Engineering, 3, 374–379.
[25] Ozcalik, O., & Tihminlioglu, F., 2013. Barrier properties of corn zein nanocomposite coated polypropylene films for food packaging applications. Journal of Food Engineering, 4, 505–513.
[26] Cutter, C. N., 2006. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh

and further processed muscle foods. Meat Science, 1, 131–142.
[27] Ribeiro, W. X., Lopes, J. F., Cortes, M. S., & Tadini, C. C. 2015. Characterization of biodegradable film based on zein and oleic acid added with nanocarbonate. Ciência Rural, 10, 1890–1894.
[28] Tihminlioglu, F., Atik, İ. D., & Özen, B., 2010. Water vapor and oxygen-barrier performance of corn–zein coated polypropylene films. Journal of Food Engineering, 3, 342–347.
[29] Ferreira, S. P., Ruiz, W. A., & Gaspar-Cunha, A., 2012. Rheological and thermal characteristics of wheat gluten biopolymers plasticized with glycerol. Química Nova, 4, 719–722.
[30] Rafieian, F., Shahedi, M., Keramat, J., & Simonsen, J., 2014. Mechanical, thermal and barrier properties of nano-biocomposite based on gluten and carboxylated cellulose nanocrystals. Industrial Crops and Products, 282–288.
[31] Cho, S.-W., Gallstedt, M., & Hedenqvist, M. S., 2010. Properties of wheat gluten/poly (lactic acid) laminates. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 12, 7344–7350.
[32] Kokoszka, S., Debeaufort, F., Hambleton, A., Lenart, A., & Voilley, A., 2010. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3, 503–510.
[33] Kim, E., Moore, B. S., & Yoon, Y. J., 2015. Reinvigorating natural product combinatorial biosynthesis with synthetic biology. Nature Chemical Biology, 9, 649–659.
[34] Hartmann, R., Hany, R., Geiger, T., Egli, T., Witholt, B., & Zinn, M., 2004. Tailored Biosynthesis of Olefinic Medium-Chain-Length Poly [(R)-3-hydroxyalkanoates] in Pseudomonas p utida GPo1 with Improved Thermal Properties. Macromolecules, 18, 6780–6785.
[35] Koller, M., 2014. Poly (hydroxyalkanoates) for food packaging: Application and attempts towards implementation, 1, 3–15.
[36] Bugnicourt, E., Cinelli, P., Lazzeri, A., & Alvarez, V. A., 2014. Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging, 11, 791–808.
[37] Plackett, D., & Siró, I., 2011. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) for food packaging. In Multifunctional and nanoreinforced polymers for food packaging, Elsevier, 498–526.
[38] Kale, G., Auras, R., & Singh, S. P., 2006. Degradation of commercial biodegradable packages under real composting and ambient exposure conditions. Journal of Polymers and the Environment, 3, 317–334.
[39] Koller, M., Niebelschütz, H., & Braunegg, G., 2013. Strategies for recovery and purification of poly [(R)-3-hydroxyalkanoates](PHA) biopolyesters from surrounding biomass. Engineering in Life Sciences, 6, 549–562.
[40] Tripathi, A. D., Srivastava, S. K., & Yadav, A., 2014. Biopolymers potential biodegradable packaging material for food industry. Polymers for Packaging Applications.
[41] Katiyar, V., Gaur, S. S., Pal, A. K., & Kumar, A., 2014. Properties of plastics for packaging applications. Polymers for Packaging Applications; Alavi, S., Thomas, S., Sandeep, KP, Kalarikkal, N., Varghese, J., Yaragalla, S., Eds, 3–39.
[42] Bucci, D. Z., Tavares, L. B. B., & Sell, I., 2005. PHB packaging for the storage of food products. Polymer Testing, 5, 564–571.
[43] Cunha, M., Berthet, M.-A., Pereira, R., Covas, J. A., Vicente, A. A., & Hilliou, L., 2014. New biodegradable composites for food packaging.
[44] Lu, H., 2014. Processing and characterization of bio-based composites, 1–76.
[45] Bhuwal, A. K., Singh, G., Aggarwal, N. K., Goyal, V., & Yadav, A., 2013. Isolation and screening of polyhydroxyalkanoates producing bacteria from pulp, paper, and cardboard industry wastes. International Journal of Biomaterials, 1–10.
[46] Stoica-Guzun, A., Stroescu, M., Jipa, I., Dobre, L., & Zaharescu, T., 2013. Effect of γ irradiation on poly (vinyl alcohol) and bacterial cellulose composites used as packaging materials. Radiation Physics and Chemistry, 200–204.
[47] Gao, C., Yan, T., Du, J., He, F., Luo, H., & Wan, Y., 2014. Introduction of broad spectrum antibacterial properties to bacterial cellulose nanofibers via immobilising ε-polylysine nanocoatings. Food Hydrocolloids, 204–211.
[48] Stoica-Guzun, A., Jecu, L., Gheorghe, A., Raut, I., Stroescu, M., Ghiurea, M., Danila, M., Jipa, I., & Fruth, V., 2011. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) and bacterial cellulose composites by Aspergillus niger. Journal of Polymers and the Environment, 1, 69–79.