

Production of Polylactic Acid (PLA) from Biomass: A Review

Elham Eslahi Nowpashani, Majid Lotfy, Elahe Ghaderi Nasabe*

Faculty of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Received: 2 August 2013 , Accepted: 5 October 2013

Abstract

Nowadays, one of the challenges encountered by food packaging industry is a high demand for fresh, healthy and with minimum processed foods. Selecting materials with their appropriate packaging method can be helpful to maintain product quality. Today, due to reductions in petroleum products and petrochemicals, rapid global warming and environmental pollution, bioactive polymers have attracted much attention in bioactive packaging. In this study, raw materials, manufacturing process and applications of polylactic acid (PLA) are discussed. PLA is a linear aliphatic thermoplastic polyester which can be derived from 100% renewable sources such as corn, but, most initial uses are limited to medical applications such as sutures. Nowadays this polymer is extensively used for packaging, textile and manufacturing plastic containers and biologically degradable polymers. The processing of such agricultural products and wastes has replaced to petroleum based products. This implies that biorefinery can lower the chemical costs and save energy for production of plastics and facilitate conditions to reduce waste materials from garbage.

Key Words

food products,
polylactic acid (PLA),
agricultural products,
biorefinery,
corn

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: e.ghaderi68@yahoo.com

بسیار

فصلنامه علمی- ترویجی

سال سوم، شماره ۳

صفحه ۷۵-۶۶، ۱۳۹۲

ISSN: 2252-0449

مروری بر تولید پلی لاکتیک اسید (PLA) از زیست توده

الهام اصلاحی نوپاشانی، مجید لطفی، الهه قادری نسب*
قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی

دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۱، پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۳

تقاضا برای تولید محصولات غذایی تازه، ایمن و با حداقل فراورش، از جمله مهم‌ترین چالش‌هایی است که امروزه صنعت بسته‌بندی مواد غذایی با آن مواجه است. انتخاب صحیح مواد و روش مناسب بسته‌بندی به حفظ کیفیت محصول کمک شایانی می‌کند. امروزه به دلیل کاهش فراورده‌های نفتی و پتروشیمی، افزایش گرمای جهانی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از پلیمرهایی که تحت عنوان بسته‌بندی‌های زیست‌فعال شناخته می‌شوند، گسترش یافته است. در این مطالعه، به مواد اولیه، فرایند ساخت و کاربردهای پلی لاکتیک اسید (PLA) پرداخته شده است. پلی لاکتیک اسید یک پلی‌استر گرمانرم آلیفاتیک خطی است که می‌تواند به طور ۱۰۰٪ از منابع تجدیدپذیر مانند ذرت استخراج شود. البته کاربرد آن محدود به پزشکی مثل نخ بخیه بوده است. ولی امروزه این پلیمر، به‌طور گسترده در بسته‌بندی، نساجی و تولید ظروف پلاستیکی کاربرد دارد. پلیمر حاصل زیست‌تخریب‌پذیر خواهد بود. چنین فرایندهایی محصولات کشاورزی و حتی پسماندهای آنها را جایگزین نفت خام به عنوان ماده اولیه کرده است. این اتفاق بدین معنی است که زیست‌پالایش می‌تواند از مقدار مواد شیمیایی و انرژی مورد نیاز برای تولید پلاستیک‌ها بکاهد و پتانسیل‌هایی را برای کاهش قابل توجه مواد زائد از زباله‌ها فراهم آورد.

چکیده



الهام اصلاحی نوپاشانی



مجید لطفی



الهه قادری نسب

واژگان کلیدی

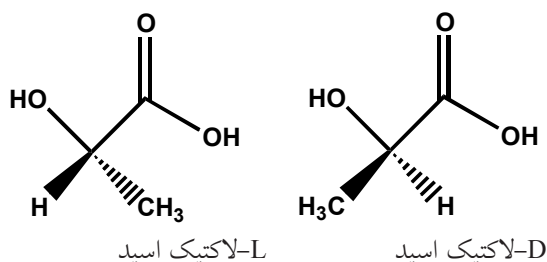
محصولات غذایی،
پلی لاکتیک اسید (PLA)،
محصولات کشاورزی،
زیست‌پالایش،
ذرت

می کنند. در مرحله بعد، به طور شیمیایی مولکول های لاکتیک اسید به یکدیگر متصل می شوند، تا زنجیری مشابه با زنجیر پلی اتیلن ترفنالات (PET) به دست آید. PET پلاستیکی پتروشیمیایی است و در بطری نوشابه های خانواده و در یاف لباس ها استفاده می شود [۵].

تعریف پلی لاکتیک اسید

پلی لاکتیک اسید یک پلی استر گرمانرم آلیفاتیک خطی است که می تواند به طور ۱۰۰٪ از منابع تجدیدپذیر مثل ذرت استخراج شود. البته کاربرد آن محدود به پزشکی مثل نخ بخیه بوده است. ولی امروزه این پلیمر به طور گسترده در بسته بندی، نساجی و تولید ظروف پلاستیکی کاربرد دارد [۶].

پلی لاکتیک اسید شباهت زیادی به پلاستیک دارد. این فیلم گرمانرم، زیست تخریب پذیر و ترکیبی مشتق شده از منابع تجدیدشدنی گیاهی ذرت و چغندر قند است [۷]. این پلیمرها کاربردهای گوناگونی در صنایع منسوجات، پزشکی و به ویژه بسته بندی و ظروف یکبار مصرف دارد. پلی لاکتیک اسید به خانواده پلی استرهای آلیفاتیک تعلق دارد که معمولاً از آلفا هیدروکسی اسیدها ساخته می شوند. پلی لاکتیک اسید یک گرمانرم با استحکام و مدول زیاد است که ماده اولیه آن از منابع تجدیدپذیر مانند سیب زمینی و ذرت تولید می شود. این پلیمر، به راحتی در دستگاه های پلاستیک استاندارد قالب گیری می شود. PLA از معدود پلیمرهایی است که می توان ساختار مولکولی آن را با نسبت ایزومرهای L و D کنترل کرد تا پلیمر بلوری یا بی شکل با وزن زیاد به دست آید (شکل ۱). این پلیمر کاربردهای گوناگونی در صنایع پزشکی، به ویژه بسته بندی دارد. PLA به عنوان ماده ای ایمن برای مواد غذایی شناخته شده است و می تواند در تماس با غذا قرار گیرد. این پلیمر بدون احتیاج به وجود کاتالیزور با آبکافت پیوندهای استری تجزیه می شود. سرعت تجزیه شدن آن به شکل و اندازه شیء پلیمری، نسبت ایزومر و دمای آبکافت بستگی دارد (شکل ۲) [۸].

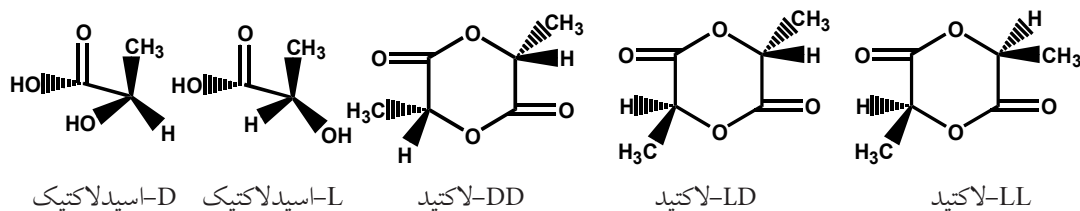


شکل ۱- ایزومرهای فضایی لاکتیک اسید [۶].

زیست پالایش، استفاده از فناوری های پیشرفته برای تبدیل موثر بخش غیر سلولوزی (لیگنین و همی سلولوز) زیست توده چوبی به سوخت های مایع و مواد شیمیایی ارزشمند است. زیست پالایش با زیست انرژی رابطه تنگاتنگی دارد و با صنعت خمیر و کاغذ هم مرتبط است. زیست پالایش می تواند باعث تقویت و قدرتمندتر شدن اقتصاد این صنعت شود [۱]. امروزه مواد استفاده شده در بسته بندی مواد غذایی، شامل طیف وسیعی از پلیمرهای وابسته به ترکیبات نفتی، فلزات، کاغذ، شیشه و چوب یا ترکیبی از این مواد اند. دوام و تجزیه پذیری مواد بسته بندی دو مبحث متناقض اند که اولی برای پایداری بسته بندی و حفاظت آن طی عمر مفید محصول مناسب بوده و دومی در واقع تجزیه سریع آن در محیط زیست است [۲]. طی سالیان اخیر، به دلیل افزایش آگاهی های زیست محیطی، قیمت نفت خام و چالش های مربوط به گرم شدن زمین، توجه و علاقه به زیست پلیمرها افزایش یافته است. از آنجا که این پلیمرها از منابع تجدیدپذیر به دست می آیند و زیست تخریب پذیرند، بنابراین استفاده از آنها در مقایسه با پلیمرهای بر پایه ترکیبات نفتی دارای حداقل آثار منفی زیست محیطی است. امروزه این ترکیبات در زمینه های مختلف مانند فیزیوتراپی، داروسازی، پزشکی، پوشش دهی، فرآورده های غذایی و مواد بسته بندی استفاده می شوند [۳]. مصرف فراوان لاکتیک اسید و مشتقات آن در صنایع غذایی، نساجی، دارویی، آرایشی، شیمیایی و به ویژه پلیمری، موجب شده است تا در سال های اخیر مطالعات زیادی به منظور تولید این اسید آلی انجام گیرد. افزون بر این، لاکتیک اسید می تواند از راه واکنش های شیمیایی به مواد مفیدی، مانند پروپیلن اکسید، پروپیلن گلیکول و استرلاکتات تبدیل شود. ساخت پلی لاکتیک و آکریلیک اسیدهای زیست تخریب پذیر نیز بازار مهمی برای لاکتیک اسید خالص ایجاد کرده است [۴]. تا به امروز کوشش صنایع زیست فناوری و کشاورزی در باره جایگزینی پلاستیک های معمولی با پلاستیک های گیاهی به سه دیدگاه منجر شده است:

- تبدیل قندهای گیاهی به پلاستیک،
- تولید پلاستیک در درون بدن میکروارگانیسم های گیاهی و
- رشد پلاستیک در ذرت و سایر غلات.

شرکت Cargill، یکی از غول های صنایع کشاورزی به همراه شرکت Daw، برترین شرکت شیمیایی جهان، چند سال پیش به توسعه دیدگاه اول همت گماشتند. این تلاش ها، به تبدیل قند حاصل از ذرت و سایر گیاهان به پلاستیک پلی لاکتید اسید (PLA) منجر شد. در مرحله اول، میکروارگانیسم ها قند را به لاکتیک اسید تبدیل



شکل ۲- شیمی فضایی لاکتیک اسید و مولکول های لاکتید [۹].

کشت می شود. مثال بارز آن کشت ذرت در نبراسکای آمریکاست. اما از آنجا که در ایران برنامه ریزی های گسترده و جامعی برای استفاده از ضایعات کشاورزی انجام نشده است، بسیاری از این ضایعات به شکل پسماند به طبیعت وارد می شوند [۴]. تاکنون انواع کربوهیدرات ها و مواد نیتروژنی برای تولید لاکتیک اسید به کار رفته اند. انتخاب ماده اولیه مصرفی، به ریزسازواره و محصول مورد نظر بستگی دارد. سوکروز، مالتوز، گلوکوز، مانیتول و غیره به شکل تجاری استفاده شده اند. ملاس ارزان است، اما بازدهی کمی برای تولید لاکتیک اسید دارد. ذرت، کاه، پوست دانه پنبه و غیره نیز بررسی شده اند (جدول ۱) [۴].

استفاده از تفاله چغندر قند در تولید گرمانرم ها

سالانه بیش از یک میلیون تن تفاله چغندر قند توسط صنایع قند در ایالات متحده تولید می شود. برای صنایع کشاورزی یافتن

مواد اولیه مورد نیاز برای تولید پلی لاکتیک اسید

مواد اولیه تولید پلی لاکتیک اسید، محصولات کشاورزی مانند ذرت، چغندر قند، گندم و سایر محصولات سرشار از نشاسته هستند. قابل توجه است که الزامی به استفاده از محصولات اصلی کشاورزی برای تولید پلی لاکتیک اسید نیست، بلکه می توان از ضایعات محصولات کشاورزی نیز به طور گسترده در تولید پلی لاکتیک اسید استفاده کرد. بقایای محصولات کشاورزی، مخازن پرارزشی برای تولید ماده آلی خاک هستند. متأسفانه در ایران کشاورزان این بقایای با ارزش را می سوزانند که با سوزاندن بقایای گیاهی، قسمت عمده ماده آلی به CO_2 تبدیل شده و به هدر می رود. در کشورهای صنعتی به دلیل قرار گرفتن ضایعات کشاورزی در چرخه تولید سایر محصولات، عملاً ضایعات دورریختنی گسترده ای وجود ندارد تا در تولید پلی لاکتیک اسید به کار گرفته شود. به همین دلیل، مواد اولیه مورد نیاز تولید پلی لاکتیک اسید در این کشورها به شکل صنعتی

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی لاکتیک اسید [۸].

مقدار	خواص
۱- هیدروکسی اتان کربوکسیلیک اسید ۲- هیدروکسی پروپیونیک اسید	سایر نام ها
$CH_3-CHOH-COOH$	فرمول شیمیایی
۹۰/۰۸	وزن مولکولی
کاملاً محلول در آب	انحلال پذیری
۱/۲	وزن مخصوص
۰	درصد فرا ریت حجمی (در $21^\circ C$)
۱۲۲	دمای جوش ($^\circ C$)
۱۱۲	دمای اشتعال ($^\circ C$)
۱/۷۵	pH محلول ۱۰٪
۳/۸۶	فعالیت اسیدی (PKa)
۳۶/۹	گرانروی در دمای $25^\circ C$ (cP)
۰/۰۸۱۳	فشار بخار در 25 mmHg

جدول ۲- مواد اولیه به کار رفته برای تولید لاکتیک اسید [۱۱].

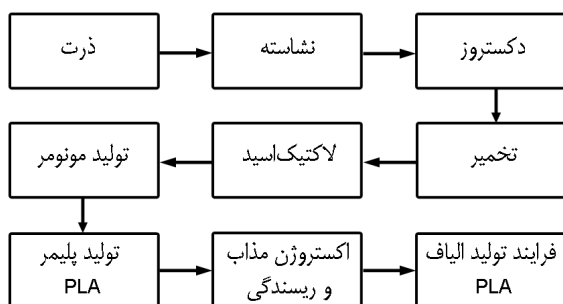
مواد خام	ارگانیزم
شیره قند (ملاس)	Loctobcillus delbrueckii NCIMB 8130
	Enterococcus faecalis RKY 1
چاودار	Loctobcillus paracasei No. 8
ذرت خوش‌های شیرین	Loctobcillus paracasei No. 8
	Loctobcillus paracasei No. 8
گندم	Lactococcus lactis ssp. Lactis ATCC 19435
	Enterococcus faecalis RKY 1
ذرت	Enterococcus faecalis RKY 1
	Loctobcillus amylovorus ATCC 33620
نشاسته	Loctobcillus amylovorus ATCC 33620
سیب زمینی	Loctobcillus amylovorus ATCC 33620
برنج	Loctobcillus sp. RKY 2
سلولوز	Loctobcillus coryniformis ssp. Torquens ATCC 25600
چوب ذرت	Rhizopus sp. MK-96-1196
ضایعات کاغذ	Loctobcillus coryniformis ssp. Torquens ATCC 25600
	Rhizopus oryae NRRL 395
چوب	Loctobcillus delbrueckii NRRL B-445
	Enterococcus faecalis RKY1
آب پنیر	Loctobcillus helveticus R211
	Loctobcillus casei NRRL B-441

پلاستیک‌های تولید شده در صنایع پتروشیمی قابل رقابت هستند (جدول ۲) [۱۰].

آب پنیر در تولید پلی لاکتیک اسید

از جمله این مواد زائد و دورریختنی، آب پنیر است. از آنجا که آب پنیر برای جذب در طبیعت دارای نیاز اکسیژن زیست‌شیمیایی بسیار زیادی یعنی در حدود ۳۰۰۰۰ ppt تا ۵۰۰۰۰ ppt است، مقدار آلوده‌سازی محیط زیست آن بسیار بیشتر از حد مجازی است که سازمان حفاظت از محیط زیست برای پساب‌های صنعتی معین کرده است. مقدار معین شده سازمان حفاظت از محیط زیست ۵۰ ppm تا ۱۰۰ ppm است. این در حالی است که اکنون بیشتر آب پنیر کارخانه‌های پنیرسازی به شکل پسماند وارد طبیعت می‌شود. در سال ۱۳۸۴ مقدار کل تولید پنیر در کشور، ۶۷۸۵۰ تن بود. هر تن پنیر معادل ۸ تن آب پنیر دارد. آب پنیر واحد بزرگی در

کاربری سودآور برای این مواد تجزیه‌پذیر زیستی که به شکل باقی‌مانده استخراج قند دور ریخته می‌شوند، امری حیاتی محسوب می‌شود. گروهی از پژوهشگران دانشگاه واشنگتن (Washington State University)، موفق به تولید نوعی پلاستیک گرمانرم تجزیه‌پذیر شده‌اند که در تولید ظروف یک‌بار مصرف غذا می‌تواند استفاده شود. این زیست‌پلاستیک از تفاله چغندر قند و پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر دیگری بنام پلی لاکتیک اسید با فرایند اکستروژن ساخته می‌شود. پلی لاکتیک اسید پلیمری است که به شکل تجاری از قند گیاهانی مثل ذرت، چغندر قند، نیشکر یا سایر گیاهان استخراج و به عنوان ماده اولیه تجدیدپذیر در فراوری محصولات استفاده می‌شود. دانشمندان دریافته‌اند که می‌توان از تفاله چغندر قند تا مقدار ۵۰٪ همراه با پلی لاکتیک اسید، در تولید ترکیبات گرمانرمی استفاده کرد که دارای خواص مکانیکی مشابه پلی پروپیلن و پلی استیرن باشند. این گرمانرم‌های جدید با



شکل ۴- مراحل تبدیل ذرت به الیاف پلی لاکتیک اسید (PLA) [۱۵].

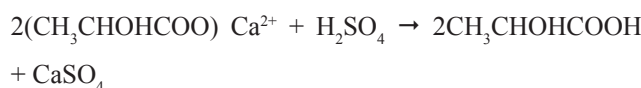
پلیمرهایی براساس نوع فرایند و کاربرد نهایی مورد نیاز تولید کرد. در ایالات متحده آمریکا منشأ اصلی دکستروز مصرفی ذرت است، در حالی که در سایر کشورهای تولید کننده آن از منابع دیگری نیز تهیه می شود. پلی لاکتیک اسید در سال ۱۹۳۲ میلادی توسط کاروترز در شرکت دوپونت (Dupont) آمریکا کشف شد. این اکتشاف در خلال گرمادهی به لاکتیک اسید در شرایط خلأ، با ایجاد محصولی با وزن مولکولی کم به وقوع پیوست. بدین ترتیب، دامنه‌ای از پژوهش‌ها از آن تاریخ برای افزایش وزن مولکولی این ماده آغاز شد.

پس از دوپونت شرکت‌هایی از جمله شیمادزو (Shimadzu) و میتسویی تواتسو در ژاپن نیز برای کاربردهای متداول پلاستیک اقدام به تولید پلی لاکتیک اسید کردند. پیشرفت‌های اخیر در تخمیر

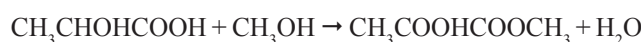
۱- تخمیر و خنثی سازی



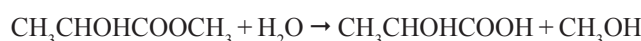
۲- آبکافت اسیدی با سولفوریک اسید



۳- استری شدن



۴- آبکافت با آب



تولید پلی لاکتیک اسید و الیاف از ذرت

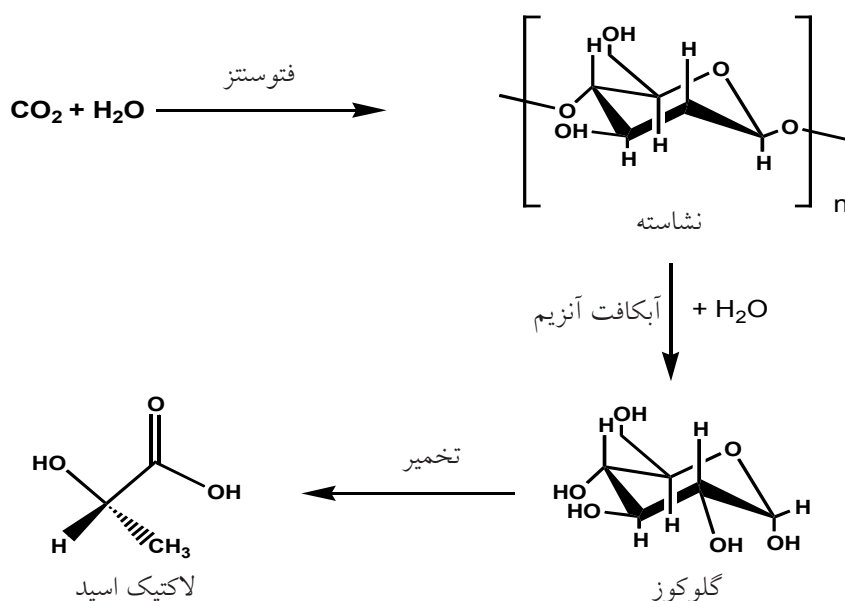
در این بخش منحصراً فرایند تولید پلی لاکتیک اسید و الیاف از ذرت بررسی شده است. به طور کلی، فرایند تولید پلیمر پلی لاکتیک اسید (PLA) طی سه مرحله اصلی تولید می شود (شکل ۴) که عبارتند از:

۱- تبدیل ذرت به دکستروز (قند ذرت)،

۲- فرایند تخمیر (fermentation) دکستروز که منجر به تولید ایزومرهای فعال نوری لاکتیک اسید می شود.

۳- پلیمر شدن لاکتیک اسید حاصل به منظور تهیه پلیمر آن.

در پلیمر شدن با توجه به نوع ایزومر آن خانواده‌ای از این پلیمر ایجاد می شود. با کنترل نسبت ایزومر نوری و وزن مولکولی می توان



شکل ۵- تولید لاکتیک اسید از منابع تجدیدپذیر [۶].

کاربردهای پلی لاکتیک اسید

ساخت نانوکامپوزیت

داداشی در سال ۱۳۹۰، اثر افزودن سه نوع نانوذره را شامل مونتموریلونیت اصلاح آلی شده (Cloisite 20A) دارای یک بعد در مقیاس نانو، سلولوز میکروبلور (MCC) با دوبعد در مقیاس نانو و دی اکسید تیتانیم (TiO_2) با سه بعد در مقیاس نانو، روی نانوکامپوزیت های تهیه شده از پلیمر زیست تخریب پذیر پلی لاکتیک اسید (PLA) مورد ارزیابی قرار داد. برای این منظور، فیلم های (PLA) با درصدهای صفر، ۳، ۵ و ۷ از هر کدام از نانوذرات اشاره شده با روش ریخته گری روی قالب های شیشه ای تولید شد. خواص فیزیکی شامل ضخامت، شفافیت و رنگ، ساختار به کمک پراش ایکس، ساختار به کمک میکروسکوپی پویشی الکترونی (SEM)، نفوذپذیری به بخار آب (WVP)، خواص مکانیکی شامل استحکام کششی (TS)، مدول کشسانی و درصد ازدیاد طول تا پارگی (E%)، خواص گرمایی شامل دما و درصد بلورینگی (%) به کمک گرماسنجی پویشی تفاضلی (DSC) و در نهایت توپوگرافی سطح به کمک میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، برای نانوکامپوزیت های تهیه شده مطالعه شد. نتایج به دست آمده بیانگر تفاوت اثر این نانوذرات بر حسب ماهیت و درصد استفاده شده است. ذرات نانورس در عین اینکه روی خواص فیزیکی اثر چندانی ندارند، ولی روی نفوذپذیری به بخار آب، خواص مکانیکی و گرمایی اثر بهبود دهنده گی چشمگیری دارد و این آثار با افزایش درصد افزوده شده نانوذرات نیز نمایان می شود. بررسی ریزساختار نیز تفکیک صفحات رس و میان لایه ای و ورقه ای شدن مناسب آنها در بستر پلیمر و برهم کنش قوی بین این صفحات و ماتریس پلیمری به دلیل اصلاح آلی را تایید می کند.

صنایع و بسته بندی غذایی

جعفری زاده و اصلا نژاد در سال ۱۳۸۵، در بررسی و ارزیابی آثار بسته بندی پلی لاکتیک اسید (PLA) در مقایسه با بسته بندی پلی استر روی کیفیت پنیر نیمه سفت به این نتیجه رسیدند، مهاجرت اجزای فرار پلی لاکتیک اسید به داخل پنیر بسیار جزئی بوده و کاملاً از شاخص های بحرانی کمتر است. مقدار اکسیژن موجود در بسته بندی پلی لاکتیک اسید از موارد پایه ای بسته بندی بیشتر است، در نتیجه سرعت انتقال اکسیژن و درجه بالایی از اکسایش لیپیدی در بسته بندی پلی لاکتیک اسید پیش می آید. نتایج نشان می دهد، در حالت استفاده از بسته بندی پلی لاکتیک اسید برای پنیر نیمه

قند ذرت (دکستروز) حاصل از ذرت در حد بسیار جالب توجهی سبب کاهش هزینه های تولید مونومر لاکتیک اسید برای تولید پلیمر پلی لاکتیک اسید شده است (شکل ۵) [۱۵].

مزایای پلی لاکتیک اسید

اصلی ترین مزایای کاربرد پلی لاکتیک اسید عبارتند از:

- ۱- جلوگیری از آلودگی محیط زیست، زباله های ناشی از مصرف کالاهای ساخته شده از پلی لاکتیک اسید با قرار گرفتن در مجاورت خاک تجزیه شده و متلاشی می شوند.
- ۲- جلوگیری از افزایش گازهای گلخانه ای، تولید صنعتی پلی لاکتیک اسید مستلزم کشت گیاهان مورد استفاده به عنوان ماده اولیه در مقیاس انبوه است.
- ۳- سازگاری با بافت موجود زنده، از آنجا که مواد اولیه تولید پلی لاکتیک اسید گیاهی هستند، در کاربردهای بسته بندی، به کالاهای بسته بندی شده به ویژه مواد غذایی، مواد شیمیایی و غیرطبیعی منتقل نمی کنند.
- ۴- کاهش استفاده از منابع نفتی در تولیدات، در تولید پلی لاکتیک اسید، نه تنها از نفت به عنوان ماده اولیه استفاده نمی شود، بلکه فرایند تولید آن نیز به منابع سوختی کمتری نیاز دارد.
- ۵- استفاده از منابع تجدیدپذیر، گیاهان به عنوان مواد اولیه تولید پلی لاکتیک اسید منابعی قابل تولید و بازیافت اند. هر یک از این ویژگی ها به تنهایی می تواند دلیلی محکم بر گسترش تولید و کاربرد پلی لاکتیک اسید در مقایسه با پلاستیک های امروزی باشد [۱۲].

چالش های استفاده از پلی لاکتیک اسید

- با وجود مزایای زیادی که پلی لاکتیک اسید در مقایسه با سایر زیست پلیمرها دارد، استفاده از آن در صنعت و رقابت با پلیمرهای صنعتی با چند چالش اصلی روبه روست، از جمله:
- ترد و شکننده بودن که نیاز به اصلاح و بهبود دارد و
 - نفوذپذیری زیاد به بخار آب و گازها، دمای انتقال شیشه ای (T_g) کم و پایداری گرمایی ضعیف [۱۶، ۱۷].
- برای غلبه بر این مشکلات می توان از راهکارهایی همچون استفاده از نرم کننده های مناسب، ترکیب با سایر پلیمرها، بهینه سازی شرایط تبلور و استفاده از افزودنی های مناسب برای تولید انواع کامپوزیت ها استفاده کرد. به کارگیری نانوذرات و تولید نانوکامپوزیت برای بهبود خواص پلیمرها به دلیل تنوع و اثربخشی زیاد این ذرات بسیار مطرح است.

پلی استری که در مصارف پزشکی استفاده شد، پلی لاکتیک اسید بود [۲۲]. این ماده در سال ۱۹۳۰ سنتز شد. از آن زمان تا به امروز، هوموپلیمرها، کوپلیمرها و کامپوزیت‌های مختلفی از این پلیمر تهیه و در زمینه‌های متعددی همچون سامانه‌های رهایش کنترل شده دارو، پروتزهای ارتوپدی، تثبیت‌کننده‌های شکستگی استخوان، ترمیم‌های دندان، جایگزینی نای، درمان فتق، تجدید و نوسازی رباط‌ها و نیز تهیه زخم‌پوش‌های زیست‌تخریب‌پذیر با موفقیت استفاده شده‌اند [۲۳، ۲۴].

نتیجه‌گیری

افزایش تقاضای انرژی و آثار منفی سوخت‌های فسیلی بر محیط زیست بهره‌برداری انرژی از منابع تجدیدپذیر را به یک ضرورت مبدل کرده است. در این میان، انرژی زیست‌توده که از منابع تجدیدپذیر است، می‌تواند به جای سوخت‌های فسیلی و متعارف استفاده شود. زیست‌توده نه تنها پتانسیل قابل توجهی به عنوان منبع سوخت دارد، بلکه در مقایسه با سایر انرژی‌های تجدیدپذیر از سطح هزینه‌های قابل قبولی نیز برخوردار است. مواد اولیه تولید پلی لاکتیک اسید، محصولات کشاورزی مانند ذرت، چغندر قند، گندم و سایر محصولات سرشار از نشاسته هستند. قابل توجه است که الزامی به استفاده از محصولات اصلی کشاورزی برای تولید پلی لاکتیک اسید نیست، بلکه می‌توان از ضایعات محصولات کشاورزی نیز به‌طور گسترده در تولید پلی لاکتیک اسید استفاده کرد. تاکنون انواع کربوهیدرات‌ها و مواد نیتروژنی برای تولید لاکتیک اسید به کار رفته‌اند. انتخاب ماده اولیه مصرفی به ریزسازواره و محصول مورد نظر بستگی دارد. سوکروز، مالتوز، گلوکز، مانیتول و غیره به شکل تجاری استفاده شده‌اند. ملاس ارزان است، اما بازدهی کمی برای تولید لاکتیک اسید دارد. ذرت، کاه، پوست دانه پنبه و غیره نیز بررسی شده‌اند. در نهایت، زیست‌پالایش به لحاظ آنکه ترکیبی از فناوری‌های جدید است که سبب کامل‌تر شدن آن می‌شود، همچنین بحث تقویت عملکرد انرژی و هزینه موثر استفاده از ماده خام هنگامی که طرح تولید کارخانه توسعه یافته است.

مراجع

1. Ghasemian A., Ghaffari M., Akbarpour I., and Mahmmodkia M., Biorefinery in Pulp and Paper Industry, the Second Inter-

سفت، نگهداری در تاریکی و استفاده از مواد غیرشفاف و کاهش مقدار بخار آب خروجی از پنیر، امکان‌پذیر می‌شود. در این حالت، محصول در برابر اکسایش و کاهش رطوبت محافظت می‌شود [۱۸]. لیاقتی و همکاران در سال ۱۳۹۱، در بررسی اثر بسته‌بندی با نانوکامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید - نانورس بر ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی نان حجیم بیان کردند که بیاتی و آلودگی کپکی از جمله مسائلی است که ماندگاری و قابلیت پذیرش نان را توسط مصرف‌کننده کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد، پوشش پلی لاکتیک اسید نانورس اثر قابل ملاحظه‌ای در افزایش رطوبت و کاهش پارامترهای بافت‌سنجی نمونه‌ها به دلیل خاصیت نفوذپذیری کمتر نانورس به رطوبت و اکسیژن داشتند [۱۹]. در صنایع غذایی استفاده از آن به عنوان طعم دهنده، تنظیم‌کننده pH، بازدارنده فساد باکتریایی و غنی‌سازی مواد معدنی مجاز است. افزون بر آن، در فراورده‌های گوشت و مرغ نظیر سوسیس و کالباس لاکتیک اسید و نمک‌های آن را برای افزایش زمان ماندگاری محصول، بهبود طعم و محافظت در برابر عوامل بیماری‌زای قابل تکثیر در مواد غذایی به کار می‌برند [۸].

صنایع آرایشی - بهداشتی

لاکتیک اسید به عنوان یک ترکیب طبیعی در صنایع آرایشی برای مرطوب‌کنندگی و تنظیم pH تا مواردی نظیر محافظت میکروبی، شفاف‌سازی و آب‌رسانی به پوست استفاده می‌شود [۸].

پزشکی

طی دو دهه گذشته، استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر برای مصارف پزشکی رشد سریعی داشته است. مواردی همچون نخ‌های بخیه قابل جذب، پروتزهای جذب‌شدنی استفاده شده در جراحی‌های ارتوپدی، سامانه‌های جذب‌شدنی رهایش تدریجی دارو در بدن، رگ‌های خونی و پوست‌های مصنوعی زیست‌تخریب‌پذیر، نمایانگر بخش کوچکی از کاربردهای متعدد این پلیمرها هستند [۲۰، ۲۱]. بیشترین پژوهش‌های انجام شده و پیشرفت‌های حاصل در زمینه پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به دسته بزرگی از این خانواده به نام پلی استرها تعلق دارد. نخستین

- national Congress on Climate Change & Dendrochronology in Caspian Ecosystems, Sari- iran, 12-14 May, 1-12, 2010.

2. Dadashi S., *Effect of Enhancing Nanoparticle on their Mechanical and Physical Properties Films based on Polylactic Acid (PLA)*, M.Sc. Thesis (Food Industry), University of Tehran, Faculty of Engineering and Technical Agriculture, 2011.
3. Lunt J., Large-scale Production, Properties and Commercial Applications of Polylactic Acid Polymers, *Polym. Degrad. Stabil.*, **59**, 145-151, 1998.
4. عبدالعلی زاده م.ص.، واشقانی فراهانی ابراهیم، خدابنده م.، هاشمی س.، بهینه سازی شرایط تولید لاکتیک اسید در فرایند غیر مداوم تخمیر آب پنیر توسط باکتری لاکتوباسیلوس کازئی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۷، ۱۳۸۹.
5. تولید پلاستیک از گیاهان، ماهنامه دام، کشت و صنعت، شماره ۱۰۳.
6. Farrington D.W., Lunt J., and Blackburn R.S., *Poly(lactic acid) Fibres, Biodegradable and Sustainable Fibres*, CRC, England, Chap. 6, 30, 2005.
7. Liaghati L., Azizi M.H., and Jookar M., Effect of Packaging with Polylactic Acid Nanocomposites- Nano Clay on Chemical and Bacterial Properties Voluminous Bread, the Second National Congress of Safety Nutrition, Islamic Azad University, Savadkohe Branch, 2012 b.
8. Ashkan F., *Synthesis of Polylactic Acid by Polymerization and Their Optimization*, M.Sc. Thesis (polymer engineering), University of Sharife, Faculty of Chemical and Petroleum, 2008.
9. Saeidlou S., Huneault M.A., Li H., and Park C.B., Poly(lactic acid) Crystallization, *J. Prog. Polym. Sci.*, **37**, 12, 1657-1677, 2012.
10. اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی ایران، اخبار و رویدادهای مهم بین المللی کشاورزی و آب، ۱۳۹۱.
11. Jung Wee Y., Nam Kim J., and Won Ryu H., Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications, *Food Technology, Biotechnology*, **44**, 163-172, 2006.
12. عباسی ز.، علی عسگری، ع.، چالش های توسعه صادرات مواد غذایی کشور و بررسی راهکارها (مطالعه مورد پلیمر پت)، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، پرتال جامع علوم انسانی، ۳۲، ۱۳۸۷.
13. Jiang L. and Zhang J., Biodegradable Polymers and Polymer Blends, *Journal of Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*, 109-128, 2013.
14. طیب عزیزی م.، گنجی ف.، واشقانی فراهانی ابراهیم، اصلاح روش خالص سازی دیمر حلقوی لاکتید، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، ۲۱، ۲۵۱-۲۵۱، ۱۳۸۷.
15. توانایی م.ع.، تولید الیاف از ذرت به روش ذوب ریسی، الیاف پلی لاکتیک، مجله نساجی، ۹۶، ۴۱-۳۹، ۱۳۸۹.
16. Cabedo L., Feijoo J.L., Villanueva M.P., Lagaron J.M., and Gimenez E., Optimization of Biodegradable Nanocomposites based on PLA/PCL Blends for Food Packaging Applications, *Macromol. Sym.*, **233**, 191-197, 2006.
17. Harada M., Ohya T., Iida K., Hayashi H., Hirano K., and Fukuda H., Increased Impact Strength of Biodegradable Poly(lactic acid)/Poly(butylenes succinate) Blend Composites by Using Isocyanate as a Reactive Processing Agent, *J. Appl. Polym. Sci.*, **106**, 1813-1820, 2007.
18. Jafarizadeh H. and Aslannezhad H., Effect of Packaging Poly-lactic Acid on Semi-Stiff Cheese, *11th Congress on Chemical Engineering*, Tarbiat Modares University, Tehran, 2006.
19. Liaghati L., Azizi M.H., and Jookar M., Effect of Packaging with Polylactic Acid Nanocomposites- Nano Clay on Chemical and Bacterial Properties Voluminous Bread, the Second National Congress of Safety Nutrition, Islamic Azad University, Savadkoh Branch, 2012 a.
20. Hoffmann B., Volkmer E., Kokott A., Weber E., Hamisch S., Schieker M., Mutschler W., and Ziegler G., A New Biodegradable Bone Wax Substitute with the Potential to be Used as a Bone Filling Material, *J. Mater. Chem.*, **17**, 4028-4033, 2007.
21. Hasirci V., Lewandrowski K., Gresser J.D., Wise D.L., and Trantolo D.J., Versatility of Biodegradable Biopolymers: Degradability and an In Vivo Application, *J. Biotechnol.*, **86**, 135-150, 2001.
22. Sarbolouki M.N. and Mohamadi-Roshandeh J., Application of Polymers in Medicine and Treatment, *IJCCE*, **22**, 1-27, 2003.
23. Ranne T., Tirri T., Yli-Urpo A., Narhi T.O., Laine V.J.O., Rich J., Seppa J., and Aho A., In Vivo Behavior of Poly(ε-Caprolactone-co-DL-lactide)/Bioactive Glass Composites in Rat Subcutaneous Tissue, *J. Bioactive Compatible Polym.*, **22**, 249-264, 2007.
24. Wang N., Shenwu X., Li C., and Feng M., Synthesis, Characterization, Biodegradation, and Drug Delivery Application of Biodegradable Lactic/Glycolic Acid Polymers: I. Synthesis and Characterization, *J. Biomat. Sci., Polymer. Ed.*, **11**, 301-