فصلنامه علمی - ترویجی
سال سوم شماره ۲، شماره پیاپی ۱۰، تابستان ۱۳۹۷
Vol. 3, No. 2, Issue No. 10, Summer 2018, Quarterly
صفحه ۲۵ - ۱۹

Iran Polymer Technology: Research and Development

مروری بر خواص پلاستیک‌های ساخته شده از پروتئین منفرد نخود

ارمغان کشاورز میرزامحمدی[۱]، علی عباسیان*[۱]

۱ تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی پلیمر

چکیده ...

پروتئین‌ها در نقش پلاستیک اهمیت زیادی به دلایل زیست محیطی پیدا کرده‌اند، در میان انواع پروتئین گیاهی، پروتئین نخود اخیراً مورد توجه واقع شده است. پروتئین نخود به دلیل قیمت پایین، فقدان اصلاحات ژنتیکی در گونه‌های تجاری و نیز حساسیت‌زایی نسبتاً کم آن مورد توجه است. در این مطالعه ضمن معرفی پروتئین نخود به بررسی خواص آمیزه‌های تولید شده از پروتئین منفرد (ایزوله) نخود پرداخته خواهد شد. مطالعات نشان داد که نوع نرم‌کننده و pH اثری برشفافیت فیلم‌ها نداشتند. در بررسی شفافیت زیست‌پلاستیک‌های به‌دست آمده از پروتئین نخود، افزایش زمان قالب‌گیری شفافیت را کاهش داد، درحالی که افزایش فشار قالب‌گیری منجر به افزایش شفافیت زیست‌پلاستیک شد. در بررسی خواص مکانیکی فیلم‌های پروتئین منفرد گرمادیده نخود، قوی‌تر، قابل کشش‌تر و چقرمه‌تر از فیلم‌های گرماندیده بودند. هم‌چنین فیلم‌های پروتئین منفرد نخود، استحکام کششی و مدول کشسان بیشتر و مقادیر کشامد پایین‌تر را در مقایسه با فیلم‌های عصاره نخود نشان دادند. افزایش در زمان و فشار قالب‌گیری، کرنش در شکست را افزایش داد، درحالی که مدول تغییر قابل‌توجهی نکرد. در تحلیل حرارتی، دمای انتقال شیشه‌ای پروتئین منفرد نخود، حدود ۱۰۰°C مشاهد شد که با افزایش نسبت پروتئین منفرد نخود/گلیسرول به عنوان نتیجه‌ای از اثر نرم‌کننده به مقادیر پایین‌تر انتقال یافت.

واژه‌های کلیدی:

زیست پلیمر
پروتئین منفرد نخود
خواص زیست پلیمر نخود
خواص مکانیکی
زیست‌پلاستیک

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:
a.abbasian@yahoo.com

۱ مقدمه

در سال های اخیر، مقدار زیادی از پسماندهای پلاستیکی زیست تخریب ناپذیر تولید شده است. این مشکل زیست-محیطی با این حقیقت که رشد پیوسته تقاضا برای محصولات پلاستیکی وجود دارد، نگران کننده می شود. به همین علت، پلیمرهای زیست تخریب پذیر (زیست پلاستیک ها) به عنوان ماده ای که می توانند آسیب های زیست-محیطی را کاهش دهند مورد توجه واقع شده اند، درحالی که خود آن ها از منابع تجدیدپذیر تولید می شوند [۱]. پروتئین ها (از منابع مختلف مانند آب پنیر، تخم مرغ، پودر خون، سویا، گلوتن، نخود و ...) و پلی ساکاریدها به عنوان مواد خام مورد توجه در تولید زیست پلاستیک ها برای طیف وسیعی از کاربردها توصیه شده اند. با توجه به نوع پروتئین، پروتئین های گیاهی، برای طیف وسیعی از کاربردها موردتوجه قرار گرفته اند. به طور خاص، دانه های خوردنی، منابع ارزانی از پروتئین با ارزش غذایی نسبتاً زیاد هستند که آن ها را مواد خام بسیار خوبی برای تولید محصولات برپایه پروتئین می کند [۴-۲].

برای مثال در بازار جهانی برای مواد پلاستیکی پایه زیستی پروتئین سویا به دلیل داشتن قیمت کم، کیفیت مناسب و خواص نسبتاً متنوع مورد توجه است و این ها عواملی هستند که رقابت با آن را مشکل می سازد. با این حال، استفاده از پروتئین نخود نیز می تواند از نظر اقتصادی سودمند باشد چون قیمت آن ۲/۸ $/kg-۲/۵ [۵] کم تر از دیگر پروتئین های منفرد (ایزوله) مانند پروتئین آب پنیر ۲۸-۱۳/۵ $/kg و حتی پروتئین سویا ۳/۸-۳ $/kg [۶] است. علاوه بر این پروتئین نخود مزایای دیگری ازجمله عدم نیاز به اصلاحات ژنتیکی در گونه های تجاری و نیز حساسیت زایی نسبتاً کم را داراست [۷]. وجود پیوند دی سولفیدی بین مولکولی، پیوند هیدروژنی، برهم کنش های آب گریز و نیروهای الکترواستاتیک بین زنجیرهای پروتئین به طور معمول منجر به ساختارهای شکننده پروتئین می شود [۸]. برای کاهش نیروهای بین مولکولی بین زنجیرهای پلیمر، فراوری زیست پلاستیک های پایه پروتئینی به یک مرحله اختلاط با نرم کننده نیاز دارد که منجر به افزایش تحرک زنجیرهای پروتئین و کاهش دمای انتقال شیشه ای می شود [۹].

همچنین شایان گفتن است که واسرشته شدن (Denaturation) پروتئین، برهم کنش های پروتئین-پروتئین و درون زنجیری آن ها، خواص فیزیکی و ریخت شناسی (مورفولوژی) پلیمر را تحت تأثیر قرار می دهد [۵].

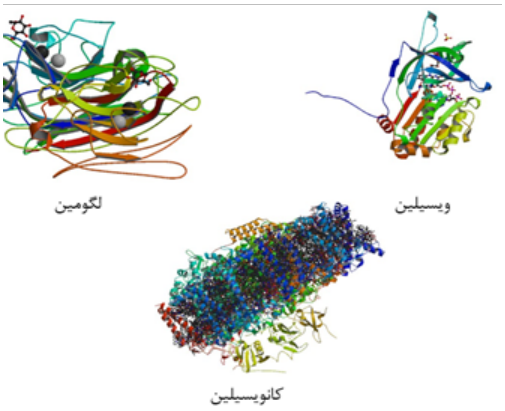
استفاده از پروتئین نخود، به رغم توانایی بالقوه آن به علت داشتن خواص عالی تاکنون اندک بوده است. به همین منظور در این مطالعه به بررسی خواص آمیزه های تولید شده از پروتئین منفرد نخود پرداخته خواهد شد تا مسیرهای پیموده شده و باقی مانده در این حوزه مشخص شوند.

۲ پروتئین نخود

تولید جهانی نخود ۱۲-۱۰ میلیون تن در سال است. نخود به صورت سنتی برای خوراک انسان و دام، به علت ارزش غذایی بالای آن استفاده می شود. نخود می تواند به دو نوع تقسیم بندی شود: (۱) نخود باغی یا سبز (۲) نخود مزرعه ای یا نخود خشک (آشی).

مقدار پروتئین نخودهای خشک در حدود ۱۴ تا ۳۹ درصد وزنی و اساساً شامل گلوبولین (Globulin) است که ۶۵ تا ۸۰ درصد پروتئین را تشکیل می دهند. برخه گلوبولین (Globulin Fraction) شامل لگومین (Legumin)، ویسیلین (Vicilin) و مقدار کمی کانویسیلین (Convicilin) است(شکل ۱) [۱۰]، آمینواسیدهای متداول موجود در پروتئین نخود نیز در جدول ۱ درج شده است.

نخود به سه صورت عرضه می شود: آرد نخود، عصاره پروتئینی نخود (PPC) و پروتئین منفرد (ایزوله) نخود (PPI) درصد هر یک از آن ها در جدول ۲ نشان داده شده



شکل ۱ ساختار ویسیلین، لگومین و کانویسیلین [۱۱]

جدول ۱ درصد آمینواسیدهای موجود در پروتئین نخود [۱۰]

آمینواسید	درصد (٪)
لیزین (Lysine)	۸
آرجنین (Arginine)	۸
آسپارتیک اسید (Aspartic Acid)	۱۲
گلوتامیک اسید (Glutamic Acid)	۱۹

است [۱۳، ۱۲]. مشخصه‌یابی پروتئین نخود منفرد نشان داده است که پروتئین منفرد حاوی انواع مختلفی از برخه‌های پروتئین است که وزن‌های مولکولی مختلفی دارند که مقدار قابل توجهی از آن‌ها بسیار واسرشته شده‌اند، حلالیت کم آن‌ها و مقدار اندک سولفیدریل نشانگر این واسرشتگی است [۱۴]. به این دلیل که پروتئین منفردنخود از عصاره و آرد نخود، چربی کم‌تر و پروتئین بیشتری دارد، به طور عمده در آزمایش‌ها از این ماده استفاده می‌شود. البته گاه در مقالات دیده شده که از عصاره پروتئین نخود استفاده شده و خواص مناسبی هم گرفته شده است [۱۵].

به طور کلی پروتئین منفردنخود (PPI) از خالص سازی عصاره نخود (PPC) به‌دست می‌آید.

در عمل تعداد کاربردهای فنی پروتئین نخود محدود است، موارد غیرپلیمری عبارتند از مواد فعال سطحی (Surfactant)، فیلم‌ها و میکروحفرات در لوازم آرایشی [۱۶]. کاربردهای پلیمری پروتئین نخود به خصوص

جدول ۲ مقایسه درصد پروتئین PF،PPC و PPI

نوع	پروتئین ٪
آرد نخود (PF)	۶۶/۲۶ ± ۰/۶۴
عصاره نخود (PPC)	۸۰/۱ ± ۵/۱
پروتئین منفردنخود (PPI)	۸۸/۵۶± ۱/۵۸

تولید فیلم و زیست‌پلاستیک‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۳ بررسی خواص فیلم‌ها و زیست‌پلاستیک‌های تهیه شده از پروتئین نخود

۳-۱ انتقال نور و شفافیت

مواد بسته‌بندی باید غذا را از اثرات نور، به خصوص تابش فرابنفش محافظت کنند. Kowalczyk و همکاران [۱۷] با مقایسه منحنی‌های طیفی فیلم‌های پروتئین نخود منفرد دریافتند که انتقال نور توسط نوع نرم‌کننده و pH خیلی کم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. عامل اصلی تحت تأثیر قراردهنده انتقال فیلم‌ها، حرارت‌دهی بود. حرارت‌دهی محلول تشکیل فیلم موجب افزایش انتقال نور از فیلم در محدوده مرئی می‌شود. ممکن است فیلم‌های پروتئین منفرد نخود تهیه شده از محلول گرماندیده، ذرات حل‌نشده بیشتری داشته باشند که نور مرئی را بازتاب می‌کنند؛ در نتیجه فیلم‌ها کدرتر بوده، انتقال نور کمتری را نشان می‌دهند. باید اشاره داشت که تنها در مورد فیلم‌های پروتئین منفرد نخود تهیه شده از محلول گرماندیده، افزودن نرم‌کننده در مقادیر بالاتر، انتقال نور مرئی را کاهش می‌دهد؛ امابرای فیلم‌های تشکیل شده از محلول گرمادیده این تمایل مشاهده نمی‌شود. تغییرات به‌دست آمده در شفافیت فیلم پس از حرارت دادن محلول مشاهده شده به انتقالات گرمایی ترکیبات غیرپروتئینی، بیشتر کربوهیدرات‌ها دومین جز اصلی پروتئین منفردنخود تجاری نسبت داده شده است [۱۷]. آن‌ها گزارش کردند که pH اثری بر شفافیت فیلم‌های پروتئین منفردنخود تهیه شده از محلول گرمادیده نداشت، درحالی که عامل مهمی در شفافیت فیلم‌های پروتئین منفردنخود تهیه شده از محلول گرماندیده بود. شفافیت پایین‌تر فیلم‌های ریخته‌گری شده در pH ۷ در مقایسه با pH ۹ ناشی از حل شدن ناقص پروتئین‌های اصلاح نشده در pH خنثی بوده است. از سوی دیگر، در محیط بسیار بازی، بارهای منفی پروتئین‌های واسرشته نشده، ایجاد نیروهای دافعه کرده که از تشکیل ماتریس همگن پروتئین جلوگیری می‌کنند، بنابراین شفافیت فیلم‌های ریخته‌گری شده در pH ۱۱ کمتر از شفافیت آن‌ها در pH ۹ بود. پروتئین‌های اصلاح نشده و گرمایی،

تغییر ماهیت داده (واسرشته شده) و در واکنش پذیری متفاوت هستند. گرمایش موجب شبکه‌ای شدن پروتئین می‌شود، درنتیجه برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک وابسته به pH، می‌توانند اثر ناچیزی بر همگنی (شفافیت) فیلم‌های پروتئین نخود منفرد تهیه شده از محلول گرمادیده داشته باشند [۱۷].

این درحالی است که Choi و همکاران [۱۵] دریافتند که هیچ رابطه‌ای بین آمایش گرمایی و شفافیت فیلم‌های به‌دست آمده از پروتئین نخود منفردخالص شده (۹۱% پروتئین) وجود ندارد. شفافیت بد فیلم‌های به‌دست آمده توسط Choi و همکاران، احتمالاً نتیجه غلظت بالاتر پروتئین در فیلم‌ها بوده است.

Rhim و همکاران [۱۸] در مطالعه‌ای در مورد فیلم‌های تهیه شده از پروتئین واسرشته، گزارش کردند که چسبندگی اساساً به علت پیوند هیدورژنی بود. مولکول‌های نرم‌کننده با مولکول‌های پلیمر برای پیوند هیدروژنی رقابت می‌کنند، درنتیجه همگنی شبکه فیلم‌های ریخته‌گری شده از محلول گرماندیده می‌تواند توسط مقدار زیاد از مولکول‌های نرم‌کننده تخریب شود. کاهش در درجه همگنی ساختار پروتئین در نهایت منجر به کاهش شفافیت شده است.

در بررسی شفافیت زیست‌پلاستیک‌های به‌دست آمده از پروتئین نخود Perez و همکاران نشان دادند که کاهش سهم پروتئین منفردنخود، شفافیت را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر آزمون‌هایی با مقدار بالاتر پروتئین منفردنخود، بلورینه‌تر و هم‌چنین کدرتر هستند [۱۴].

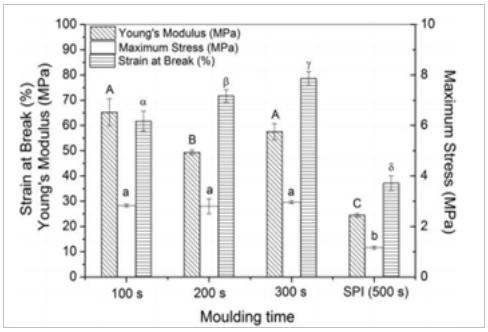
در مطالعه‌ای دیگر Perez-Puyana [۱۹] گزارش کردند که شفافیت با افزایش زمان قالب‌گیری کاهش می‌یابد. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش زمان قالب‌گیری آمیزه ساختار سازمان‌دهی شده‌تری (بلورینگی بیش‌تر) حاصل می‌شود. شفافیت با افزایش فشار تزریق (از ۳۰۰ تا ۹۰۰ بار) افزایش یافت که به سازمان‌یافتگی بد بخش‌های پروتئین هنگامی که فشار افزایش می‌یابد و موجب ایجاد ساختار بی‌شکل می‌شود نسبت داده شد. با این حال، آزمونه ساخته شده با کمترین فشار (۱۰۰ بار) شفافیت بالاتری را نشان داد، که به بالانبودن فشار به میزان کافی برای ایجاد ساختار بلورین در زیست‌پلاستیک نسبت داده شد.

۳-۲خواص مکانیکی

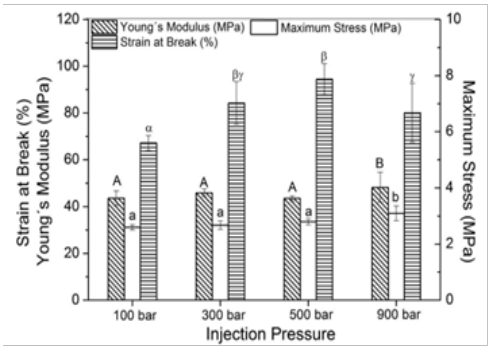
طبق مطالعات انجام شده توسط Choi، Weida و همکاران فیلم‌های پروتئین منفرد نخود اصلاح شده گرمایی دارای مقادیر بالاتر استحکام کششی و کشامد در مقایسه با فیلم‌های پروتئین اصلاح نشده و گرماندیده بودند، با این حال مدول کشسان فیلم‌های گرمادیده کم‌تر از فیلم‌های پروتئین گرماندیده بود. این نتایج نشان داد که فیلم‌های پروتئین منفرد گرمادیده قوی‌تر، قابل کشش‌تر و چقرمه‌تر از فیلم‌های گرماندیده بودند. فیلم‌های پروتئین منفرد نخود، استحکام کششی و مدول کشسان بیشتر و مقادیر کشامد پایین‌تر را در مقایسه با فیلم‌های عصاره نخود نشان دادند. اختلاف خواص بین فیلم‌های پروتئین منفرد و عصاره نخود به علت خلوص بالای پروتئین منفرد در مقایسه با عصاره نخود بوده است. خلوص بالاتر پروتئین نخود برهم‌کنش‌های مولکولی بیشتری در طول فرایند واسرشتن گرمایی فراهم آورده است [۱۵، ۱۰].

Won و همکاران [۲۰] خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی برپایه پروتئین نخود را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که افزایش غلظت نرم‌کننده (گلیسرول) استحکام کششی و مدول کشسان برای فیلم‌های واسرشته نشده عصاره نخود را کاهش داد؛ درحالی که کشامد تا پارگی افزایش یافت. مانند دیگر فیلم‌های پروتئین، گلیسرول با قرار گرفتن در بین مولکول‌های پروتئین، نیروهای بین‌مولکولی را کاهش می‌دهد و درنتیجه منجر به افزایش چقرمگی فیلم‌های حاوی گلیسرول می‌شود. آن‌ها هم‌چنین نتیجه گرفتند که در ترکیب درصد یکسان عصاره نخود/گلیسرول در فیلم، فیلم‌های عصاره نخود واسرشته به علت تشکیل پیوندهای شیمیایی درون‌مولکولی بین مولکول‌های پروتئین پس از واسرشتن سفت‌تر، قوی‌تر و قابل‌کشش‌تر نسبت به فیلم‌های واسرشته نشده بودند.

در پژوهشی در سال ۲۰۱۶، اثر زمان‌ها و فشارهای مختلف قالب‌گیری بر خواص مکانیکی زیست‌پلاستیک‌های بر پایه پروتئین نخود بررسی شد. شکل ۲ مقادیر مدول یانگ، کرنش، شکست و حداکثر استحکام کششی را برای آمیزه‌های فراوری شده در زمان‌های مختلف قالب‌گیری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود منحنی‌های تنش-کرنش به‌دست



شکل ۲ مدول یانگ، کرنش شکست و حداکثر استحکام کششی را برای آمیزه‌های فراوری شده در زمان‌های مختلف قالب‌گیری [۱۹]



شکل ۳ مدول یانگ، کرنش شکست و حداکثر استحکام کششی زیست‌پلاستیک‌های به‌دست آمده در فشارهای تزریق مختلف [۱۹]

آمده دارای پروفیل معمول هستند که شامل ناحیه خطی با شیب اولیه بالا و در ادامه ناحیه پلاستیک که در آن شیب به طور پیوسته تا هنگام کاهش ناگهانی در تنش کاهش می‌یابد است که مطابق با پارگی نمونه است.

زمان قالب‌گیری، اثری بر مدول یانگ نشان نداد زیرا مقادیر در ۱۰۰ و ۳۰۰ s اختلاف قابل توجهی نداشت. با این حال، افزایش در زمان قالب‌گیری موجب افزایش در کرنش شکست، احتمالاً به علت آرایش بهتر برخه‌های (Fractions) مختلف پروتئین با زمان شده است.

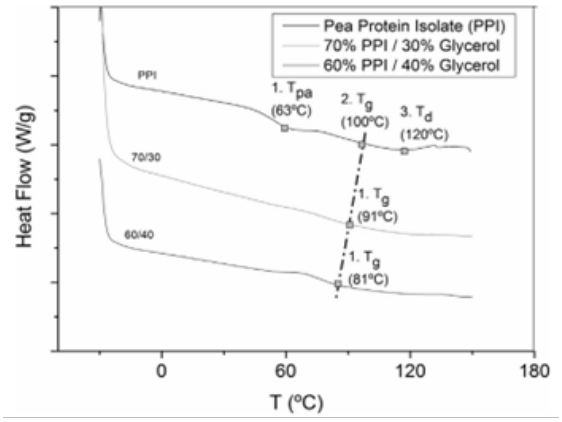
شکل ۳ مدول یانگ، کرنش شکست و حداکثر استحکام کششی را برای زیست‌پلاستیک‌های به‌دست آمده در فشارهای تزریق مختلف نشان می‌دهد. مجدداً، هیچ تغییر قابل توجهی در مدول یانگ یا حداکثر استحکام با تغییر فشار تزریق رخ نداد. با این حال، هنگامی که فشار تزریق افزایش یافت، افزایش در کرنش شکست مشاهده شد؛ به جز برای آمیزه با بالاترین فشار تزریق که کرنش شکست تمایل به کاهش داشت و زیست پلاستیک‌های به‌دست آمده در فشار بسیار بالا بسیار شکننده بودند [۱۹].

Perez-Puyana در پژوهشی دیگر اثر نرم‌کننده نیسین را بر خواص ضدمیکروبی و مکانیکی زیست پلاستیک‌های برپایه پروتئین نخود مطالعه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که افزایش غلظت نیسین منجر به افزایش مدول یانگ و کاهش شدید کرنش شکست (بدون تغییر در تنش حداکثر) و درنتیجه ایجاد زیست پلاستیک‌هایی با قابلیت شکل‌پذیری کمتر و سفتی بیشتر می‌شوند [۲۱].

۳-۳ خواص گرمایی

در بررسی خواص گرمایی Perez و همکاران [۱۴] در آمیزه پروتئین منفرد/گلیسرول سه رویداد گرمایی برای پروفیل پروتئین منفردنخود مشاهده کردند (شکل ۴)، دو قله گرماگیر DSC و یک خمیدگی. قله‌های گرماگیر مربوط به تغییرات در حالت تجمع پروتئین‌ها در محصول منفرد یا آمیزه بود. قله اول، که در ۶۳ °C قرار داشت و به هیچ برخه‌ای از پروتئین نخود نسبت داده نمی‌شد، به پدیده پیرشدگی فیزیکی (Physical Aging) نسبت داده شد.

پیرشدگی فیزیکی، فرایندی کلی است که در زمان‌هایی در پلیمرهای شیشه‌ای یا نیمه‌شیشه‌ای زیر دمای انتقال شیشه‌ای آن‌ها رخ می‌دهد و نشانه‌ای از طبیعت غیرتعادلی حالت شیشه‌ای است [۲۲]. درمقابل، قله دوم در ۱۲۰ °C



شکل ۴ منحنی DSC آمیزه پروتئین منفردنخود/گلیسرول [۱۴]

مربوط به تغییر واسرشته شدن پروتئین در دماهای بالا بوده، درنتیجه مربوط به انتخاب شرایط فرایند تزریق است. دمای انتقال شیشه‌ای پروتئین منفرد نخود در حدود ۱۰۰ °C مشاهد شد، که با افزایش نسبت پروتئین منفرد/گلیسرول، به عنوان نتیجه‌ای از اثر نرم‌کننده به مقادیر پایین‌تر انتقال یافت.

۴ نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش استفاده از پروتئین‌ها در کاربردهای مختلف، پروتئین نخود به دلیل داشتن قیمت کم، فقدان اصلاحات ژنتیکی در گونه‌های تجاری و نیز حساسیت‌زایی به نسبت اندک موردتوجه است. طبق نتایج به‌دست آمده پروتئین منفرد نخود، به عنوان محصول جانبی صنایع کشاورزی نخود درتولید فیلم‌های بسته‌بندی و هم‌چنین زیست‌پلاستیک‌ها با استفاده از فرایند مکانیکی گرمایی شامل دو مرحله (اختلاط و قالب‌گیری تزریقی) مناسب است. علاوه بر این، طبق خواص مکانیکی و فیزیکی شیمیایی به‌دست آمده از فیلم‌ها و زیست‌پلاستیک‌های برپایه پروتئین منفرد نخود، تهیه شده از منبع تجدیدپذیر، می‌توانند به عنوان گزینه مناسب برای جایگزین شدن با فیلم‌ها و پلاستیک‌های پایه نفتی در کاربردهای معمول درنظر گرفته شوند.

مراجع

1. Shand P.J.Ya.H., Pietrasik Z., Wanasundara, P.K.J.P.D.,Physicochemical and Textual Properties of Heat-induced Peaprotein Isolate Gels, *Food Chem*., 102, 1119–1130, **2007**.

2. DiGioia L., Guilbert S., Corn Protein-based Thermoplastic Resins: Effect of Some Polar and Amphiphilic Plasticizers, *J. Agric. Food Chem.*, 47, 1254–1261, **1999**.

3. Pommet M., Redl A., Morel M.H., Guilbert S., Study of Wheat Gluten Plasticisation with Fatty Acids, *Polymer*, 44, 115–122, **2003**.

4. Ribotta P.D., Colombo A., Rosell C.M., Enzymatic Modifications of Pea Protein and Its Application in Protein Cassava and Corn Starch Gels, *Food Hydrocoll*., 27, 185–190, **2012**.

5. Choi W.S., Han J.H., Physical and Mechanical Properties of Pea–protein-based Edible Films, J. Food Sci., 66, 319–32, **2001**.

6. Krochta J.M., De Mulder-Johnston C., Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities, *Food Technol*, 51, 61–74, **1997**.

7. www.wipo.int

8. Jerez A., Partal P., Martinez I., Gallegos C., Guerrero A., Rheology and Processing of Gluten Based Bioplastics, *Biochem, Eng. J.,* 26, 131-136, **2005**.

9. Mohammed Z.H., Hill S.E., Mitchell J.R., Covalentcrosslinking in Heated Protein Systems, *J. Food Sci.* 65,221–226, **2000**.

10. Weida Sh., Marie-Jose´e D., Review: Bio-based Films From Zein, Keratin, Pea, and Rapeseedprotein Feedstocks, *J Mater Sci,* 49, 1915–1930, **2014**.

11. www.Pdb.com

12. Owusu-Ansah YJ., Pea Proteins: A Review of Chemistry, Technology of Production, and Utilization, *Food Rev Int*, 7, 103–134, **1991**.

13. Fredrikson M., Biot P., Alminger ML., Carlsson NG., Sandberg AS., Production Process for High-quality Pea-protein Isolatewith Low Content of Oligosaccharides and Phytate, *J Agric Food Chem,* 49, 1208–1212, **2001**.

14. Victor P., Manuel F., Alberto R., Antonio G., Characterization of Pea Protein-based Bioplasticsprocessed by Injection Moulding, *Food and Bioproducts Processing,* 97, 100–108, **2016**.

15. Choi W.S., Han J.H., Film-forming Mechanism and Heat Denaturation Effectson the Physical and Chemical Properties of Pea-protein-isolate Edible Films, *J.Food Sci*., 67, 1399–1406, **2002**.

16. De GraafL. A., Harmsen P. F. H.,VereijkenJ. M., MönikesM., Requirements for Non-food Applications of Pea proteins, A Review, *Nahrung/Food*, 45, 408 – 411, **2001**.

17. Dariusz K., Baraniak B., Effects of Plasticizers, pH and Heating of Film-forming Solution on the Properties of Pea Protein Isolate Films, *Journal of Food Engineering*, 105, 295–305, **2011**.

18. Rhim J.W., Gennadios A., Weller C.L., Cezeirat C., Hanna M.A., Soy Protein Isolate-Dialdehyde Starch Films, *Ind. Crop. Prod*., 8, 195–203, **1998**.

19. Perez-Puyana V., Felix M., Romero A., Guerrero A., Effect of the Injection Moulding Processing Conditions on Thedevelopment of Pea Protein-based Bioplastics, *J.Appl. Polym. sci.*, 133, **2016**.

20. Choiw S., Physical and Mechanical Properties of Pea-Protein-based Edible Films, *Food Engineering and Physical Properties*, 66, 319-322, **2001**.

21. Perez Puyana V., Manuel F., Alberto R., Antonio G., Development of Pea Protein Based Bioplastics with Antimicrobial Properties, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 2671-2674, **2017**.

22. Chartoff, R.P., Thermal Characterization of Polymeric Materials, *Academic Press*, USA, 484–744, **1997**.