

مروری بر روش‌های استخراج پکتین از ضایعات غذایی و گیاهی: فراصوت، ریزموج و آنزیمی

چکیده

ضایعات غذایی و گیاهی به صورت بالقوه می‌توانند منبعی برای تولید ترکیبات با ارزش دارویی و غذایی بالا مانند پکتین قرار گیرند. پکتین طیف گسترده‌ای از کاربردها را در محصولات دارویی و آرایشی و همچنین در صنایع غذایی از جمله عامل ژل کننده، پایدارکننده در نوشیدنی‌ها، حجم دهنده در نانوائی و شیرینی‌پزی پوشش می‌دهد. پکتین تجاری موجود به طور عمده از ضایعات مرکبات یا تفاله سیب یا محصولات جانبی از تولید آب‌میوه به دست می‌آید. امروزه ضایعات غذایی جدید و منابع محصولات جانبی برای استخراج پکتین در حال افزایش است. افزون بر این، به کارگیری رویکردهای نوآورانه استخراج به دلیل محدودیت فرآیندهای مرسوم ضروری بوده و رو به گسترش است. بررسی حاضر بر روش‌های فرآوری مرسوم و نوآورانه (استخراج فراصوت، استخراج آنزیمی، استخراج به کمک ریزموج) به منظور تهیه پکتین از ضایعات غذایی و محصولات جانبی مختلف متمرکز است. چگونگی استخراج پکتین به دما، pH، زمان، حلال‌ها و نسبت جامد به مایع وابسته است. استفاده از فرآیندهای نوین استخراج می‌تواند ابزار مفیدی برای افزایش بازده و کیفیت پکتین و کاهش زمان استخراج، دما، استفاده از حلال‌ها و شرایط اسیدی قوی برای استخراج پکتین باشد. به عنوان مثال، کاربرد امواج فراصوت می‌تواند منجر به افزایش بازده پکتین با کاهش زمان استخراج و دما شود. از سویی دیگر فراصوت در مقایسه با روش‌های مرسوم استخراج با کاهش دمای بهینه، بیشینه بازده پکتین را با حفظ رنگ و ریزساختار به همراه دارد. همچنین مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد روش استخراج آنزیمی بازده استخراج پکتین را به طور مشابه با نمونه‌های کنترل (بدون آنزیم) بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی:

پکتین، فراصوت، ریزموج، استخراج، ضایعات.

*نویسنده مسئول:

مروری بر روش‌های استخراج پکتین از ضایعات غذایی و گیاهی: فراصوت، ریزموج و آنزیمی

مقدمه

فرآوری مواد غذایی به‌طور میانگین سالانه حدود ۱۰۰ میلیون تن از ضایعات غذایی را تنها در اتحادیه اروپا تولید می‌کند. صنعت نوشیدنی (۲۶ درصد) و پس از آن صنایع لبنیات و بستنی (۲۱/۳ درصد) و تولید و نگهداری میوه و سبزی‌ها (۱۴/۸ درصد) بیش‌ترین میزان ضایعات غذایی را تولید می‌کنند [1], [2]. استفاده مؤثر از ضایعات غذایی، ظرفیت زیادی برای به دست آوردن ترکیبات عملکردی دارد [3]. به‌عنوان مثال، تجزیه ضایعات غذایی می‌تواند با جداسازی ترکیبات ارزشمندی مانند پلی‌ساکاریدها، پلی‌فنول‌ها، روغن‌ها، رنگ‌دانه‌ها، پروتئین‌ها، ترکیبات طعم‌دهنده، آنزیم‌ها و فیبرهای رژیمی انجام شود [4], [8].

ساختار پکتین به شیوه‌ای مناسب خواص فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای آن را تعیین می‌کند. درجه استری شدن پکتین بر کاربرد آن به‌عنوان عامل ژل‌کننده تأثیر می‌گذارد. با توجه به تحقیق حسینی و همکاران، درجه استری شدن می‌تواند به‌عنوان درصد گروه‌های کربوکسیل استری‌شده با متانول تعریف شود [9], [10]. علاوه بر این تحقیق گناسامبندم و همکاران مشخص کرد که درجه استری شدن، درصد واحدهای گالاکتورونیک اسید استری‌شده از تعداد کل واحدهای گالاکتورونیک اسید در مولکول است [11]. به‌عنوان مثال، پکتین با توجه به درجه استری شدن به دو گروه عمده تقسیم می‌شود: پکتین با درجه متوکسیل بالا، با درجه استری سازی بیشتر از ۵۰ درصد و پکتین با درجه متوکسیل پایین، با درجه استری سازی کم‌تر از ۵۰ درصد [12].

پکتین‌های متوکسیل بالا و پایین خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی دارند و کاربردهای متنوعی پیدا می‌کنند. پکتین متوکسیل بالا می‌تواند به‌عنوان عامل ژل‌کننده، پایدارکننده و امولسیفایر در صنعت غذا برای تولید مربا و ژله‌ها مورد استفاده قرار گیرد، درحالی‌که پکتین متوکسیل پایین می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی در بستنی، ماست، پخت نان گرم، محصولات گوشتی امولسیون شده و یا محصولات کم‌کالری مانند نوشیدنی‌های گازدار رژیمی مورد استفاده قرار گیرد [13], [14]. بازار جهانی هیدرو کلونید نشان داده است که پکتین یک جز کاربردی در حال رشد سریع در بسیاری از صنایع مانند غذا، لوازم‌آرایشی، خوراک دام، محصولات مراقبت شخصی و صنایع دارویی است، منابع اصلی برای تولید پکتین تجاری، پوست مرکبات، تفاله سیب و تفاله چغندرند [14], [16]. در صنعت، پکتین تجاری موجود به‌صورت شیمیایی با استفاده از استخراج اسید به دست می‌آید اما برخی روش‌های نوآورانه استخراج برای بهبود فرآیند استخراج و کیفیت پکتین توسعه داده شده‌اند که برخی از مهم‌ترین یافته‌ها در زیر گزارش شده‌اند.

روش‌های استخراج

استخراج پکتین با روش‌های مختلفی صورت گرفته است. انتخاب یک روش مناسب برای استخراج پکتین به‌منظور بیشینه کردن بازده استخراج و بهبود کیفیت محصول مهم است. از روش‌های مختلف تهیه پکتین، روش استخراج با اسیدهای معدنی وجود دارد (جدول ۱). از دیگر روش‌ها می‌توان استخراج به کمک امواج فراصوت، ریزموج و آنزیم با مکانیزه‌های مختلف را نام برد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد (جدول‌های ۲ و ۳ و ۴).

منبع	بازده (%)	شرایط استخراج			ماده
		pH	حلال	زمان (دقیقه)	
[17]	۲/۹۵	۱/۷	هیدروکلریک اسید	۵۰	پوست پرتقال
[17]	۳/۱۵	۱/۷	هیدروکلریک اسید	۵۰	پوست لیمو
[18]	۱۴/۵	۲	سولفوریک اسید	۱۸۰	تفاله سیب
[19]	۳/۸۳	۲/۲	سیتربک اسید	۶۰	تفاله کیوی
[20]	۵/۱۲-۲/۲	۴-۲/۵	سیتربک اسید	۲۴۰-۱۲۰	پوست موز
[21]	۲-۱۸	۱/۲-۲/۵۳	نیتریک اسید	۱۰-۱۸	تفاله هلو
[22]	۱۵-۵/۲	۰/۲-۵/۵	سیتربک اسید	۱۵۰-۳۰	تفاله هویج
[23]	۲/۲۸-۸۷/۹۸	۳-۱	سیتربک اسید	۲۰۰-۴۰	پوست خربزه
[24]	۱۴/۳۴	۲/۰۴	سیتربک اسید	۶۰	تفاله سیب‌زمینی

جدول ۱: تأثیر شرایط استخراج اسیدی بر عملکرد استخراج پکتین

جدول ۲: تأثیر شرایط فراصوت بر عملکرد استخراج پکتین

منبع	بازده	شرایط استخراج				ماده
		pH	حلال	زمان	قدرت	
[25]	۴/۲۴-۲۳/۱۸	۱-۲	آب مقطر	۱۵-۳۵	۱۳۰	پوست انار
[26]	۱۵-۳۵	-	اسید اگزالیک	۱۵-۹۰	۶۰-۸۰	ضایعات گوجه‌فرنگی
[27]	۳/۱۹-۲۹/۳۸	۱-۲	اسید سیتریک	۲۰-۶۰	۳۵-۷۵	تفاله انگور
[28]	۲۳/۱-۲۷/۵۱	۱/۵	هیدروکلریک اسید	۲۰-۴۰	۶۰-۸۰	پوست گریپ‌فروت
[29]	۱۰-۱۸/۱۱	۱/۵	هیدروکلریک اسید	۱۰-۶۰	۳۰-۸۰	پوست گریپ‌فروت
[30]	۱۳/۵-۱۷/۹۲	۱/۵	هیدروکلریک اسید	۴-۳۰	۵۰-۷۰	پوست گریپ‌فروت

جدول ۳: تأثیر شرایط ریزموج بر عملکرد استخراج پکتین

منبع	بازده	شرایط استخراج			ماده
		pH	حلال	قدرت	

[31]	۱۳/۰۹-۲۴/۱۸	۱-۲	هیدروکلریک اسید	۱-۳	۱۶۰-۴۸۰	پوست هندوانه
[32]	۵-۳۲/۴	۱-۲	سولفریک اسید	۲-۴	۱۵۰-۲۵۰	تفاله چغندر قند
[33]	۱/۰۹-۲/۱۷	۱-۳	هیدروکلریک اسید	۲-۵	۳۰۰-۹۰۰	پوست موز
[34]	۷/۴۲-۱۸/۵۹	۱-۲	سولفریک اسید	۱-۳	۱۶۰-۴۸۰	پوست پرتقال
[9], [10]	۵/۲-۲۶/۴	۱/۵-۳	سیتریک اسید	۱-۳	۳۰۰-۷۰۰	پوست پرتقال ترش
[35]	۰/۰۵-۲/۹۳	۱-۳	هیدروکلریک اسید	۳-۷	۳۹۰-۶۵۰	پوست پوملو

جدول ۴: تأثیر شرایط آنزیمی بر عملکرد استخراج پکتین

منبع	عملکرد	شرایط استخراج			ماده
		زمان	دما	آنزیم	
[19]	۴/۴۸	۰/۵	۲۵	سلوکاست	تفاله کیوی
[36]	۱۴/۵	۱۸	۵۰	سلوکاست	تفاله سیب
[36]	۴/۰۱-۶/۵۳	۳	۴۰	سلوکاست	تفاله سیب
[36]	۳/۶۳-۴/۲۲	۳	۴۰	اکوناز	تفاله سیب
[36]	۴/۶۷-۷	۳	۴۰	ویسکوفر	تفاله سیب

استخراج به کمک اسیدهای معدنی

به‌طور سنتی، پکتین در آب اسید ۰/۰۵ تا ۲ مولار با اسیدسولفوریک، اسید نیتریک، فسفریک اسید، استیک اسید یا هیدروکلریک اسید در دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت با هم زدن مداوم استخراج می‌شود [17]. استخراج پکتین به عوامل متعددی از جمله دما، مقدار pH، خواص حلال، نسبت جامد به حلال، مواد جامد خشک، اندازه ذرات و سرعت نفوذ بستگی دارد. بیشترین مقدار پکتین را می‌توان در pH ۲/۰ با استفاده از اسید هیدروکلریک به دست آورد (جدول ۱) [37].

کمبودهای موجود باعث شده است که استفاده از برخی از روش‌ها و اسیدهای دیگر مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، اسیدهای آلی مانند سیتریک اسید و استیک اسید توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [24]. ساختار پکتین در طول استخراج به دلیل واکنش با اسید و سایر مواد حل شده، دست‌خوش تغییر می‌شود. در نتیجه روش‌های مختلف استخراج می‌توانند پکتین با ویژگی‌های ساختاری مختلف تولید کنند. برخی از روش‌های استخراج و رویکردهای نوآورانه در زیر نشان داده شده‌اند که شامل استخراج به کمک فراصوت، استخراج به کمک ریزموج و استخراج به کمک آنزیم است.

استخراج به کمک فراصوت

فراصوت برای اهداف مختلف فرآوری مواد غذایی از جمله استخراج، خشک کردن، امولسیون سازی و هموژنیزاسیون و همچنین برای میکروارگانسیم و غیرفعال کردن آنزیم، در میان دیگر روش‌ها استفاده می‌شود [39], [38]. برای هدف استخراج، فراصوت باعث ورود قوی‌تر و بیشتر حلال به سلول‌ها و تشدید انتقال جرم می‌شود. در نتیجه منافذ بزرگ‌تر در دیواره سلولی گیاه و اصلاح ساختاری بافت گیاهی رخ می‌دهد [40]. مزایای قابل توجهی از روش فراصوت در مقابل روش حرارت دهی مرسوم برای استخراج وجود دارد مانند مصرف انرژی پایین، کوتاه کردن زمان تصفیه، استفاده کم‌تر از حلال، افزایش بازده و از نظر زیست‌محیطی فن آوری غیر حرارتی است [42], [41]. با توجه به توانایی

فراصوت در بهبود فرآیند برای استخراج پکتین از مواد غذایی گیاهی مختلف، ضایعات و محصولات جانبی مورد استفاده قرار گرفته است. در رابطه با استخراج به کمک فراصوت نتایج شامل بهبود عملکرد پکتین و کاهش زمان و دما است که در ادامه و در جدول ۲ گزارش شده‌اند.

در طول فرآیند فرآوری انار، مقادیر زیادی محصولات قابل بازیافت تولید می‌شوند. این محصولات فرعی عمدتاً شامل پوست (۷۸٪) و دانه (۲۲٪) هستند. محصولات فرعی انار علاوه بر این که یک منبع مهم آنتی‌اکسیدان هستند، هسته اصلی تحقیق برای استخراج پکتین‌ها نیز هستند [25]. استخراج به کمک فراصوت با استفاده از یک دستگاه فراصوت با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و حداکثر توان ۱۳۰ وات انجام شد پس از اتمام آزمایش، نتایج تجربی بر روی متغیرهای فرآیند (نسبت جامد به مایع، pH، زمان استخراج و دما) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج یک همبستگی قابل قبول بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر تجربی را نشان داد، بنابراین نتیجه گرفتند که بالاترین بازده استخراج پکتین پس از استفاده از نسبت جامد به مایع ۱۸ گرم بر میلی‌لیتر و زمان استخراج ۲۹ دقیقه همچنین دمای استخراج ۶۲ درجه سلسیوس به دست آمد.

در یک مطالعه دیگر، استخراج پکتین از تفاله انگور به کمک فراصوت انجام شده است که موضوع تحقیق انجام شده به کمک تکنیک آماری بهینه‌سازی شد. علاوه بر این، از طراحی جعبه بنکن (BBD) برای تعیین دمای مناسب، مدت زمان استخراج و pH برای به دست آوردن بازده مطلوب پکتین‌های استخراج شده مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، اسیدسیتریک به عنوان حلال استخراج برای جایگزینی اسید معدنی مرسوم مورد استفاده قرار گرفت و محققان استخراج بالاتری از پلی‌ساکاریدهای شبه هوموگالاکترونان در مقایسه با روش مرسوم به دست آوردند. علاوه بر این، مقادیر پیش‌بینی شده RSM با داده‌های تجربی منسجم بودند. در مدل RSM بازده استخراج پکتین برابر با ۲۹/۴٪ با میانگین وزن مولکولی ۲۰۵-۱۱۰ kDa و درجه استری شدن برابر با ۶۲/۱٪ بود. علاوه بر این، زمانی که فراصوت با روش‌های استخراج مرسوم در دمای معادل ۷۵ درجه سلسیوس، زمان ۶۰ دقیقه و pH ۲ مقایسه شد، افزایش میانگین وزن مولکولی و بازده پکتین استخراج شده ۲۰٪ بیشتر را در هنگام استفاده از فراصوت به دست آوردند [27].

ضایعات گوجه‌فرنگی و محصولات جانبی که عمدتاً شامل دانه‌ها، پوست و خمیر هستند، به دلیل محتوای بالای آن‌ها در ترکیبات ارزشمند و به‌ویژه پکتین، توجه محققان و صنعت غذایی را به خود جلب کرده‌اند. به عنوان مثال، گراسینو و همکاران (۲۰۱۶) از دو روش مختلف برای استخراج پکتین از ضایعات گوجه‌فرنگی استفاده شد. استخراج به کمک اسیدهای معدنی و استخراج به کمک فراصوت. فراصوت در فرکانس دوگانه با استفاده از حمام التراسونیک انجام شد. فراصوت در طول ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام شد. نتایج به دست آمده افزایش بازده پکتین را در ۶۰ درجه سلسیوس به کمک اسیدهای معدنی در مقایسه با تیمار فراصوت نشان داد اما زمان استخراج کوتاه‌تری (۱۵ دقیقه) برای فراصوت مورد نیاز بود. علاوه بر این، فراصوت پکتین با کیفیت بهتری تولید کرد (اسید ایندورنیک، محتوای متوکسی و کلسیم پکتات و درجه استری سازی). عصاره‌های به دست آمده با طیف‌سنجی NMR و FTIR آنالیز شدند و در تمام نمونه‌های بررسی شده وجود پکتین عمدتاً استری شده مشاهده شد. پس از مقایسه نتایج، مشاهده شد که بازده پکتین برای هر دو روش در دمای ۸۰ درجه سلسیوس کم‌وبیش یکسان است اما با کوتاه شدن قابل توجه زمان تیمار (اسیدهای معدنی ۳۶ ساعت و فراصوت ۱۵ دقیقه). استخراج پکتین فراصوت فرصتی برای استفاده از یک روش سازگار با محیط‌زیست در دمای کاهش یافته در مقایسه با روش استخراج به کمک اسیدهای معدنی و صرفه‌جویی قابل توجه انرژی فراهم کرد [26].

دیگر مواد گیاهی برای استخراج پکتین که مورد علاقه محققان است از صنعت شکر به دست می‌آید. تفاله چغندر قند به

مقدار زیادی به عنوان محصول جانبی در طول تولید شکر تولید می‌شود. برای استخراج پکتین از تفاله چغندر قند از امواج فراصوت استفاده شد (Chen et al., 2015). در این تحقیق، مؤلفان از مدل RSM برای بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند برای به دست آوردن بازده مناسب پکتین استفاده کردند. امواج فراصوت با فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و ۱۰ دقیقه اعمال شد. نتایج حداکثر پکتین (۲۴/۶۳٪) را تحت شرایط فرآوری زمان استخراج (۳۰/۴۹ دقیقه)، فشار استخراج (۱۰/۷ مگا پاسکال)، نسبت مایع به جامد (۴۴/۰۳) و دمای استخراج (۱۲۰/۷۲ درجه سلسیوس) نشان داد. علاوه بر این، رفتارهای جریان با تأثیر پکتین بر هر دو ویژگی خمیر سازی و حرارتی در نشاسته ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که دمای خمیر سازی با افزودن پکتین افزایش می‌یابد و تمام ویژگی‌های خمیر سازی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابند. علاوه بر این، افزودن پکتین به طور قابل توجهی دمای ژلاتینه شدن و آنتالپی را افزایش داد.

استخراج به کمک امواج ریزموج

ریزموج‌ها، نقش مهمی در علم و فن‌آوری غذا در دو دهه گذشته ایفا کرده‌اند که از این رو می‌توان به راحتی در آزمایشگاه‌ها و صنعت به عنوان فناوری برای (۱) خشک کردن مواد غذایی، (۲) استخراج به کمک ریزموج، (۳) مهار آنزیم و غیرفعال سازی میکروارگانیسم‌ها استفاده کرد [43]-[45]. امواج ریزموج در هنگام ورود به زنجیره مواد غذایی، پس از تماس با ترکیبات قطبی سلولی، گرما تولید می‌کند که گرمای تولیدشده با مولکول‌هایی که موجب هدایت یونی و چرخش دوقطبی می‌شوند، واکنش می‌دهد [46]. رسانش یونی بر اساس انتقال الکتروفورتیک یون‌ها و الکترون‌های آغازشده توسط انرژی امواج ریزموج است، که میدان الکتریکی به دلیل حرکات ذرات تولیدشده است. درحالی‌که جابجایی متناوب مولکول‌های قطبی به چرخش دوقطبی اشاره دارد، جابجایی چرخشی مولکول‌های قطبی در لحظه‌ای آغاز می‌شود که مولکول‌ها در تلاش برای هم‌تراز شدن با میدان الکتریکی موجود هستند. این دو مکانیزم در کنار هم، باعث آزادسازی انرژی و گرمایش سریع می‌شوند که در نتیجه هم باعث تخریب سریع دیواره سلولی و هم باعث افزایش آزاد شدن ترکیبات مورد نظر می‌شود. در طول استخراج به کمک ریزموج، گرمای تولیدشده دیواره‌های سلول را از هم می‌پاشد و نفوذ ترکیبات با ارزش مورد نظر از ماده سلولی به سمت حلال آسان‌تر می‌شود. استفاده از روش استخراج به کمک ریزموج برای مواد گیاهی مختلف به منظور دستیابی به ترکیبات زیست فعال با ارزش قابل اجرا است. ریزموج یک فناوری استخراج نوآورانه است و با روش‌های سنتی استخراج شامل حلال استفاده می‌شود [47]، [48]. به طور کلی، فن‌آوری‌های سنتی استخراج به مقادیر عظیمی از حلال‌ها با زمان عمل‌آوری طولانی نیاز دارند درحالی‌که استخراج به کمک ریزموج به دلیل کوتاه شدن زمان فرآوری، افزایش قابل توجه در بازده، مصرف انرژی کم‌تر و کاهش استفاده از حلال‌ها مورد توجه است. بنابراین، استخراج به کمک ریزموج یک روش سازگار با محیط‌زیست در فرایند استخراج است [41]. استخراج پکتین از ضایعات غذایی و محصولات جانبی به کمک امواج ریزموج موضوع مورد علاقه چندین گروه تحقیقاتی بوده است که در پایین به چندی از آن‌ها اشاره شده است. مرکبات محصول عمده‌ای است که حاوی مقادیر بسیاری پکتین می‌باشد (Putnik et al., 2017). در میان مرکبات، میوه پوملو که عمدتاً در جنوب شرقی آسیا کشت می‌شود علاوه بر غنی بودن از ترکیبات مختلف مثل کارتوئوئیدها، ویتامین E، ترکیبات فنولی، لیگنین، فیبر و روغن‌های اساسی، حاوی پکتین فراوان است. علاوه بر ترکیبات ذکر شده در میوه پوملو، محصولات فرعی تولیدشده حاوی مقادیر زیادی تریپنوئیدها و پکتین نیز می‌باشند [35]. در دیواره سلولی پوست میوه پوملو پکتین زیادی یافت می‌شود و دارای برخی خواص مربوط به سلامتی است به عنوان مثال توانایی کاهش سطح کلسترول خون. در پژوهشی، استخراج پکتین تحت امواج ریزموج در کنار استخراج مرسوم (استخراج به کمک اسیدهای معدنی) برای مقایسه نتایج انجام شده است. استخراج پکتین تحت امواج ریزموج صورت گرفت و با استخراج

پکتین با روش مرسوم مقایسه شد که اولین مزیت مشاهده شده کوتاه شدن قابل توجه زمان عمل آوری برای به استخراج پوتین با استفاده از امواج ریزموج در مقایسه با استخراج به روش مرسوم بود. استخراج به کمک ریزموج ۶ دقیقه و استخراج مرسوم ۹۰ دقیقه به طول انجامید. علاوه بر این، تحت شرایط استخراج ۵۲۰ وات، pH ۲ و ۶ دقیقه، بازده پکتین استخراج شده با استفاده از امواج ریزموج ۳/۲۹٪ نسبت به روش استخراج مرسوم بیشتر به دست آمد [49].

پرتقال ترش (*Citrus aurantium*) از خانواده مرکبات با طعم تلخ تر در مقایسه با سایر میوه‌های مرکبات است. این واقعیت تأثیر قابل توجهی در پذیرش مصرف کننده دارد، بنابراین پرتقال ترش کمتر در بازار مصرف می‌شود. بنابراین، بیشتر به‌عنوان مکمل دارویی یا غذایی استفاده می‌شود. پوست پرتقال ترش پس از فرآوری در کارخانه‌های تولید آب‌میوه، به‌عنوان محصول قابل بازیافت ایجاد می‌شود که می‌تواند برای تغذیه حیوانات استفاده شود اما از آنجا که حاوی مقادیر قابل توجهی پکتین است. برای استخراج پکتین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه حسینی و همکاران پوست پرتقال ترش برای به دست آوردن پکتین تحت امواج ریزموج برای استخراج قرار گرفت. تأثیر تیمار زمان (ثانیه)، قدرت ریزموج (W) و pH به‌عنوان متغیرهای مستقل به‌منظور پیش‌بینی پاسخ به شکل عملکرد پکتین (%) تعیین شد. شرایط بهینه برای استخراج پکتین از پوست پرتقال ترش به شرح زیر بود: قدرت ریزموج ۷۰۰ وات، ۱۸۰ ثانیه زمان درمان و pH ۱/۵. چنین شرایطی منجر به ۲۹/۱٪ پکتین استخراج شده از پوست شد. زمان کوتاه فرآیند استخراج به کمک امواج ریزموج همراه با عملکرد قابل توجهی از پکتین نشان داد که پتانسیل استخراج به کمک امواج ریزموج به‌عنوان یک راه حل سازگار با محیط‌زیست در مورد پوست پرتقال ترش بالا است [9], [10].

پوست میوه کائو به‌عنوان محصول جانبی کارخانه‌های تولید شکلات به وجود می‌آید. مقادیر زیادی پوست کائو پس از تولید محصول نهایی باقی می‌ماند که یک مشکل زیست‌محیطی قابل توجه است. بنابراین، اگرچه مقدار پکتین در پوست کائو در مقایسه با پوست مرکبات کمتر است، اما به دلیل مشکل زیست‌محیطی مورد توجه محققان برای استخراج پکتین قرار گرفته است. بعلاوه، بازیافت پوست کائو، با کاهش مقدار کلی محصولات جانبی تولید شده می‌تواند به محیط‌زیست کمک کند. در تحقیقی استخراج به کمک اسیدهای معدنی و با استفاده از امواج ریزموج به‌عنوان پیش تیمار از پوست کائو صورت گرفت. مولیا و همکاران (۲۰۰۸) بهترین نتایج را با pH ۲/۵ و مدت زمان استخراج ۶۰ دقیقه به دست آورد. علاوه بر این، آن‌ها همچنین آزمایش‌هایی را با استفاده از امواج ریزموج به‌عنوان پیش تیمار طراحی و انجام دادند. نتایج نشان داد که بهبود قابل توجهی در عملکرد پکتین (۳/۱۶٪) پس از استفاده از امواج ریزموج در مقایسه با نمونه‌های قبل وجود دارد. با توجه به مصرف انرژی کمتر و کاهش مقدار کلی پوست کائو، پیشرفت از نظر صنعتی کاملاً مشهود بود [50].

تفاله چغندر قند نیز یک محصول فرعی بسیار مهم است که در مقایسه با انواع پوست مرکبات شامل پکتین با وزن مولکولی پایین تر و گروه‌های فرولوئیل هست که پکتین حاصل از آن می‌تواند در صنعت نوشیدنی به‌منظور تثبیت امولسیون روغن در آب مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، اگر پکتین از تفاله چغندر قند استخراج شود، می‌تواند در صنعت داروسازی به‌منظور توسعه داروها، فلوکولانت‌ها و بیوسورب‌ها مفید باشد. در تحقیقی از امواج ریزموج برای استخراج پکتین از تفاله چغندر قند استفاده شد. تفاله چغندر قند از یک کارخانه تهیه گردید و در معرض امواج ریزموج قرار گرفت. متغیرهای مستقل عبارت‌اند از: قدرت امواج ریزموج (۱۵۰-۲۵۰ وات)، زمان تیمار (۴-۲ دقیقه) و pH (۱-۲)، همچنین درصد عملکرد پکتین توسط ویسکومتر اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان داد که بازده بهینه پکتین تحت شرایط ۱۵۲.۶۳ وات قدرت امواج ریزموج، ۳/۵۳ دقیقه زمان و pH ۱/۵۷ به دست آمد [32].

استخراج به کمک آنزیم

آنزیم‌ها برای بهبود فرآیند استخراج و از طریق هیدرولیز دیواره سلولی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. واکنش‌های آنزیمی سلول را از هم می‌پاشند و باعث افزایش نفوذپذیری بیشتر در سلول‌ها می‌شود. استخراج به کمک آنزیم به زمان واکنش، نوع و غلظت آنزیم، دما، مقدار pH و اندازه ذرات مواد گیاهی بستگی دارد [51]، [8]. جدول ۴ مزایای مهمی را برای استخراج پکتین از مواد غذایی و گیاهی، ضایعات و محصولات جانبی به کمک آنزیم ارائه می‌دهد. این روش می‌تواند بازده استخراج پکتین را در مقایسه با فرآیندهای مرسوم افزایش دهد و می‌تواند در دماهای پایین فرآیند به منظور کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرد. استخراج به کمک آنزیم همچنین می‌تواند به‌طور همزمان با استخراج مرسوم به کمک اسیدهای معدنی مورد استفاده قرار گیرد. شرایط مورد استفاده در طول استخراج آنزیمی، خوردگی تجهیزات را در پی دارد، که اغلب زمانی مشاهده می‌شود که دماهای بالا برای اهداف استخراج استفاده می‌شوند [52]، [8]. علاوه بر این، پکتین به دست آمده به دلیل بازده بالا و ویژگی آنزیم‌ها کیفیت بیشتری دارد. با این حال، یکی از اشکالات اصلی استخراج آنزیمی هزینه بالا آنزیم‌ها است، که نسبتاً گران هستند. علاوه بر این، آنزیم‌های موجود نمی‌توانند به‌طور کامل دیواره‌ای سلول گیاهی را هیدرولیز کنند، بنابراین استخراج پکتین دشوار است [52]. رایج‌ترین آنزیم‌های مورد استفاده در طول فرآیند استخراج پکتین، سلولاز، پروتئاز، همی سلولز، الکالین، کسبلاز، پلی گالاکتوروناز، آمیلاز، نوتریناز، بتاگلوکوزیداز، اندوپلی گالاکتوروناز و پکتی استراز هستند [18]، [19]، [53].

در تحقیقی مقایسه روش‌های مختلف استخراج پکتین از تفاله میوه کیوی که از نظر بازده، پروتئین، خاکستر، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای، گالاکتورونیک اسید، ترکیب قند خنثی، جرم مولی و ویسکوزیته بیش‌ترین مزیت را داشتند، انجام شد. روش‌های استخراج شامل استخراج اسید با محلول اسیدسیتریک ۱٪ با pH ۲/۲ در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه، استخراج آب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه و استخراج آنزیمی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. آنزیم‌ها دیواره سلول‌های گیاهی را تجزیه می‌کنند و آن‌ها را به گلوکز، سلوبیوز و پلیمرهای گلوکز طولانی‌تر تبدیل می‌کند، بنابراین روش مفیدی برای استخراج پکتین از میوه کیوی است. شرایط بهینه برای استخراج pH در محدوده ۶-۴/۵ و دمای ۵۰-۶۰ درجه سلسیوس هست. بیشترین درصد عملکرد پکتین در تفاله کیوی با استخراج آنزیمی (۴/۵٪) به دست آمد [19].

تأثیر استخراج آنزیمی پکتین با استفاده از پیش تیمار آنزیم سلولاز تجاری برای سه دوز ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرو لیتر در هر گرم تفاله سیب به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، pH ۴/۵ در مقایسه با استخراج اسیدی با اسیدسولفوریک به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس صورت گرفت. نتایج نشان داد که استخراج آنزیمی در پایین‌ترین دوز (۱۰٪/۸) در مقایسه با استخراج اسیدی (۸٪/۲) برای استخراج پکتین کارآمدتر بود [18].

همچنین در تحقیق دیگری بهینه‌سازی استخراج پکتین از تفاله سیب با استفاده از سه نوع آنزیم مختلف (سلولاز، اکوناز و ویسکوفرم) تجاری در دسترس گزارش شده است. مقادیر مختلف pH ۴/۰، ۴/۵، ۵/۰ و ۵/۵ برای یافتن بازده بهینه مورد آزمایش قرار گرفتند. بازده پکتین به pH اولیه مخلوط واکنش بستگی دارد، و تمامی آنزیم‌های آزمودن شده در pH ۴/۵ کارآمدتر بودند. علاوه بر این، چندین ویژگی برای بهینه‌سازی استخراج پکتین اندازه‌گیری شدند که شامل، به دست آوردن دمای استخراج بهینه و نوع آنزیم مورد آزمایش بودند (۵۰ درجه سلسیوس برای سلولاز و ۴۰ درجه سلسیوس برای ویسکوفرم). به‌طور مشابه سلولاز، ویسکوفرم و اکوناز برای تجزیه دیواره سلولی گیاه به دلیل فعالیت بالای سلولولیتیک یا زایلانتیک استفاده می‌شوند، در نتیجه استخراج پکتین را تسهیل می‌کنند. علاوه بر این، استخراج

آنزیمی با استخراج اسیدی هم مقایسه شد. بازده استخراج به دست آمده با استفاده از آنزیم (سلولاز ۱۸/۹۵٪ و ویسکوفرم ۱۷/۸۶٪) بالاتر از استخراج اسیدی (۱۴٪/۵۲) بود [36].

نتیجه گیری

کاربرد فراصوت می تواند منجر به افزایش بازده پکتین با کاهش زمان استخراج و دما شود. افزون بر این، ترکیب فراصوت با گرما می تواند رویکردی برای کاهش زمان استخراج پکتین و بهبود بازده آن در مقایسه با روش استخراج مرسوم باشد. همچنین فراصوت می تواند دمای بهینه مورد استفاده در استخراج مرسوم را کاهش دهد تا به حداکثر بازده پکتین دست یابد و می تواند رنگ و ریز ساختار بهتر پکتین را در مقایسه با روش استخراج مرسوم حفظ کند. علاوه بر این، استخراج ریز موج، هم در کاهش زمان استخراج و هم در افزایش بازدهی پکتین در مقایسه با استخراج محلول اسیدی عملکرد بهتری دارد. استفاده از استخراج آنزیمی می تواند بازده استخراج پکتین را در مقایسه با نمونه های کنترل (بدون آنزیم) بهبود بخشد. این پدیده به توانایی آنزیم ها در القای هیدرولیز سلولز و در نتیجه آزادسازی پکتین به دام افتاده در زنجیره سلولز مرتبط است. در این مرحله از توسعه، نیاز به بهینه سازی و استانداردسازی شرایط فرآوری به کمک امواج فراصوت، ریز موج و آنزیم مطابق با مواد گیاهی مورد نظر، ضایعات غذایی و محصولات جانبی به منظور استخراج حداکثر بازده پکتین با بالاترین کیفیت وجود دارد. در ضمن، بهینه سازی پارامترهای استخراج شامل زمان استخراج، دما، pH، منشأ ماده استخراج شده و نسبت ماده به حلال ضروری است زیرا این عوامل می توانند مقدار و کیفیت پکتین استخراج شده را محدود کنند که خصوصیات فیزیکی-شیمیایی، عملکردی و تکنولوژیکی آن را تغییر می دهد بنابراین تأثیر قابل توجهی در کاربردهای بالقوه پکتین خواهد داشت.

منابع:

- [1] M. Arshadi *et al.*, "Pre-treatment and extraction techniques for recovery of added value compounds from wastes throughout the agri-food chain," *Green Chem.*, vol. 18, no. 23, pp. 6160–6204, 2016.
- [2] A. Baiano, "Recovery of biomolecules from food wastes—A review," *Molecules*, vol. 19, no. 9, pp. 14821–14842, 2014.
- [3] D. Granato, D. S. Nunes, and F. J. Barba, "An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 62, pp. 13–22, 2017.
- [4] F. J. Barba, Z. Zhu, M. Koubaa, A. S. Sant'Ana, and V. Orlie, "Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 49, pp. 96–109, 2016.
- [5] M. Koubaa, H. Mhemdi, F. J. Barba, S. Roohinejad, R. Greiner, and E. Vorobiev, "Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview," *Food Res. Int.*, vol. 85, pp. 59–66, 2016.
- [6] O. Pamiakov, F. J. Barba, N. Grimi, N. Lebovka, and E. Vorobiev, "Impact of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on extraction of high-added value compounds from papaya peels," *Food Res. Int.*, vol. 65, pp. 337–343, 2014.
- [7] Z. Zhu *et al.*, "Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies: A review," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 33, pp. 1–9, 2016.
- [8] E. Roselló-Soto *et al.*, "Application of non-conventional extraction methods: Toward a sustainable and green production of valuable compounds from mushrooms," *Food Eng. Rev.*, vol. 8, no. 2, pp. 214–234, 2016.
- [9] S. S. Hosseini, F. Khodaiyan, and M. S. Yarmand, "Aqueous extraction of pectin from sour orange peel and its preliminary physicochemical properties," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 82, pp. 920–926, 2016.
- [10] S. S. Hosseini, F. Khodaiyan, and M. S. Yarmand, "Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties," *Carbohydr. Polym.*, vol. 140, pp. 59–65, 2016.
- [11] R. Gnanasambandam and A. Proctor, "Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy," *Food Chem.*, vol. 68, no. 3, pp. 327–332, 2000.
- [12] B. R. Thakur, R. K. Singh, A. K. Handa, and M. A. Rao, "Chemistry and uses of pectin—a review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 37, no. 1, pp. 47–73, 1997.
- [13] B. Gómez, B. Gullón, R. Yáñez, H. Schols, and J. L. Alonso, "Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation," *J. Funct. Foods*, vol. 20, pp. 108–121, 2016.
- [14] P. Li, J. Xia, Z. Nie, and Y. Shan, "Pectic oligosaccharides hydrolyzed from orange peel by fungal multi-enzyme complexes and their prebiotic and antibacterial potentials," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 69, pp. 203–210, 2016.

- [15] H. Chen, X. Fu, and Z. Luo, "Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water," *Food Chem.*, vol. 168, pp. 302–310, 2015.
- [16] P. Putnik *et al.*, "Innovative 'green' and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citrus wastes—A review," *Molecules*, vol. 22, no. 5, p. 680, 2017.
- [17] Y. Georgiev, M. Ognyanov, I. Yanakieva, V. Kussovski, and M. Kratchanova, "Isolation, characterization and modification of citrus pectins," *J. Biosci. Biotechnol.*, vol. 1, no. 3, 2012.
- [18] A. Wikiera, M. Mika, A. Starzyńska-Janiszewska, and B. Stodolak, "Application of Celluclast 1.5 L in apple pectin extraction," *Carbohydr. Polym.*, vol. 134, pp. 251–257, 2015.
- [19] O. Yulianti, K. K. T. Goh, L. Matia-Merino, J. Mawson, and C. Brennan, "Extraction and characterisation of pomace pectin from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*)," *Food Chem.*, vol. 187, pp. 290–296, 2015.
- [20] M. F. Rosaaauthor, F. L. Cavalcanteauthor, S. E. Mazzettoauthor, and H. M. C. Azeredoauthor, "Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology," 2015.
- [21] J. Pagan, A. Ibarz, M. Llorca, A. Pagan, and G. V Barbosa-Cánovas, "Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace," *Food Res. Int.*, vol. 34, no. 7, pp. 605–612, 2001.
- [22] F. Jafari, F. Khodaiyan, H. Kiani, and S. S. Hosseini, "Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties," *Carbohydr. Polym.*, vol. 157, pp. 1315–1322, 2017.
- [23] Z. Raji, F. Khodaiyan, K. Rezaei, H. Kiani, and S. S. Hosseini, "Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 98, pp. 709–716, 2017.
- [24] J.-S. Yang, T.-H. Mu, and M.-M. Ma, "Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp," *Food Chem.*, vol. 244, pp. 197–205, 2018.
- [25] I. G. Moorthy, J. P. Maran, S. Muneeswari, S. Naganyashree, and C. S. Shivamathi, "Response surface optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from pomegranate peel," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 72, pp. 1323–1328, 2015.
- [26] A. N. Grassino, M. Brnčić, D. Vikić-Topić, S. Roca, M. Dent, and S. R. Brnčić, "Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste," *Food Chem.*, vol. 198, pp. 93–100, 2016.
- [27] R. Minjares-Fuentes, A. Femenia, M. C. Garau, J. A. Meza-Velázquez, S. Simal, and C. Rosselló, "Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach," *Carbohydr. Polym.*, vol. 106, no. 1, pp. 179–189, 2014, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.02.013.
- [28] W. Wang *et al.*, "Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method," *Food Chem.*, vol. 178, pp. 106–114, 2015.
- [29] Y. Xu *et al.*, "Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectin from grapefruit peel," *J. Food Eng.*, vol. 126, pp. 72–81, 2014.
- [30] H. Bagherian, F. Z. Ashtiani, A. Fouladitajar, and M. Mohtashamy, "Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 50, no. 11–12, pp. 1237–1243, 2011.
- [31] J. P. Maran, V. Sivakumar, K. Thirugnanasambandham, and R. Sridhar, "Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds," *Carbohydr. Polym.*, vol. 101, pp. 786–791, 2014.
- [32] D. Li, X. Jia, Z. Wei, and Z. Liu, "Box–Behnken experimental design for investigation of microwave-assisted extracted sugar beet pulp pectin," *Carbohydr. Polym.*, vol. 88, no. 1, pp. 342–346, 2012.
- [33] G. J. Swamy and K. Muthukumarappan, "Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels," *Food Chem.*, vol. 220, pp. 108–114, 2017.
- [34] J. P. Maran, V. Sivakumar, K. Thirugnanasambandham, and R. Sridhar, "Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel," *Carbohydr. Polym.*, vol. 97, no. 2, pp. 703–709, 2013.
- [35] Q. Chen, Z. Hu, F. Y.-D. Yao, and H. Liang, "Study of two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 66, pp. 538–545, 2016.
- [36] A. Wikiera, M. Mika, and M. Grabacka, "Multicatalytic enzyme preparations as effective alternative to acid in pectin extraction," *Food Hydrocoll.*, vol. 44, pp. 156–161, 2015.
- [37] S. G. Kulkarni and P. Vijayanand, "Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.)," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 43, no. 7, pp. 1026–1031, 2010, doi: 10.1016/j.lwt.2009.11.006.
- [38] N. N. Misra, A. Martynenko, F. Chemat, L. Paniwnyk, F. J. Barba, and A. R. Jambrak, "Thermodynamics, transport phenomena, and electrochemistry of external field-assisted nonthermal food technologies," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 58, no. 11, pp. 1832–1863, 2018, doi: 10.1080/10408398.2017.1287660.
- [39] Z. Herceg, M. Brnčić, A. Režek Jambrak, S. Rimac Brnčić, M. Badanjak, and I. Sokolić, "Possibility of application high intensity ultrasound in milk industry," *Mljekarstvo časopis za unaprjeđenje Proizv. i prerade mlijeka*, vol. 59, no. 1, pp. 65–69, 2009.
- [40] Z. Zhu *et al.*, "HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction," *Food Chem.*, vol. 215, pp. 391–400, 2017.
- [41] F. Chemat *et al.*, "Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 41, pp. 357–377, 2017.
- [42] E. Roselló-Soto *et al.*, "Clean recovery of antioxidant compounds from plant foods, by-products and algae assisted by ultrasounds processing. Modeling approaches to optimize processing conditions," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 42, no. 2, pp. 134–149, 2015.
- [43] S. Şahin *et al.*, "Solvent-free microwave-assisted extraction of polyphenols from olive tree leaves: Antioxidant and

- antimicrobial properties,” *Molecules*, vol. 22, no. 7, p. 1056, 2017.
- [44] Q. Deng *et al.*, “The Effects of Conventional and Non-conventional Processing on Glucosinolates and Its Derived Forms, Isothiocyanates: Extraction, Degradation, and Applications,” *Food Eng. Rev.*, vol. 7, no. 3, pp. 357–381, 2015, doi: 10.1007/s12393-014-9104-9.
- [45] M. Bouras, M. Chadni, F. J. Barba, N. Grimi, O. Bals, and E. Vorobiev, “Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Quercus* bark,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 77, pp. 590–601, 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.09.018.
- [46] H. Wang, J. Ding, and N. Ren, “Recent advances in microwave-assisted extraction of trace organic pollutants from food and environmental samples,” *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 75, pp. 197–208, 2016.
- [47] J. M. Carbonell-Capella *et al.*, “Electrotechnologies, microwaves, and ultrasounds combined with binary mixtures of ethanol and water to extract steviol glycosides and antioxidant compounds from *Stevia rebaudiana* leaves,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 41, no. 5, p. e13179, 2017.
- [48] S. Périno, J. T. Pierson, K. Ruiz, G. Cravotto, and F. Chemat, “Laboratory to pilot scale: Microwave extraction for polyphenols lettuce,” *Food Chem.*, vol. 204, pp. 108–114, 2016.
- [49] A. G. J. Voragen, G.-J. Coenen, R. P. Verhoef, and H. A. Schols, “Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls,” *Struct. Chem.*, vol. 20, no. 2, pp. 263–275, 2009.
- [50] C. Mollea, F. Chiampo, and R. Conti, “Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study,” *Food Chem.*, vol. 107, no. 3, pp. 1353–1356, 2008.
- [51] M. M. Poojary, V. Orlien, P. Passamonti, and K. Olsen, “Enzyme-assisted extraction enhancing the umami taste amino acids recovery from several cultivated mushrooms,” *Food Chem.*, vol. 234, pp. 236–244, 2017.
- [52] S. Saha, A. K. Singh, A. K. Keshari, V. Raj, A. Rai, and S. Maity, “Modern extraction techniques for drugs and medicinal agents,” in *Ingredients extraction by physicochemical methods in food*, Elsevier, 2018, pp. 65–106.
- [53] H.-S. Jeong, H.-Y. Kim, S. H. Ahn, S. C. Oh, I. Yang, and I.-G. Choi, “Optimization of enzymatic hydrolysis conditions for extraction of pectin from rapeseed cake (*Brassica napus* L.) using commercial enzymes,” *Food Chem.*, vol. 157, pp. 332–338, 2014.

A Review of Pectin Extraction Methods from Food and Plant Wastes and by-Products: Ultrasound, Microwaves and Enzyme-assisted Extraction

Abstract

Food and plant wastes can potentially be a source of valuable medicinal and nutritional compounds such as pectin. Pectin covers a wide range of applications in pharmaceutical and cosmetic products, as well as in the food industry, including gelling agent, stabilizer in beverages, bulking agent in bakery and confectionery. The commercial pectin available is mainly obtained from citrus or apple pulp waste or by-products of fruit juice production. New food waste and sources of by-products for pectin extraction are on the rise today. In addition, the use of innovative mining approaches is necessary and expanding due to the limitations of conventional processes. The present study focuses on conventional and innovative processing methods (ultrasound extraction, enzymatic extraction, microwave extraction) in order to prepare pectin from various food wastes and by-products. How pectin is extracted depends on temperature, pH, time, solvents and the ratio of solid to liquid. The use of modern extraction processes can be useful tools to increase the yield and quality of pectin and reduce extraction time, temperature, use of solvents and strong acidic conditions for pectin extraction. For example, the use of ultrasound can increase pectin efficiency by reducing extraction time and temperature. On the other hand, compared to conventional extraction methods, by reducing the optimum temperature, the maximum efficiency of pectin is maintained by maintaining the color and microstructure. Studies also show that the enzymatic extraction method improves the extraction efficiency of pectin similarly to control samples (without enzyme).

Key words: Pectin, Ultrasound, Microwave, Extraction and waste.

*Corresponding author