مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۶- شماره ۲- سال ۱۴۰۰
www.ElitesJournal.ir

مروری بر فرایندهای نوین استخراج ضداکسنده‌های طبیعی از گیاهان مختلف

سیده فاطمه حسینی [1*]، حبیب الله میرزایی [2]

۱- کارشناس ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*Fatemehhosseini392@yahoo.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۱۴۰۰ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۰

چکیده

اکسایش روغن‌ها و چربی‌ها در شرایط حرارتی و ذخیره‌سازی طولانی مدت، علاوه بر کاهش ارزش تغذیه‌ای و کیفیت حسی، عمر ماندگاری فرآورده را نیز کاهش داده و به دلیل تولید ترکیبات نامطلوب در روغن بر سلامت مصرف کنندگان آثار سوئی می‌گذارد، از این رو جلوگیری یا تاخیر در فرآیند اکسایش تحت شرایط حراراتی و انبارداری ضروری است که یکی از راه‌های جلوگیری از اکسیداسیون این مواد استفاده از ترکیبات ضد اکسنده می‌باشد. کاربرد روش‌هایی برای استخراج ترکیبات با ارزش گیاهی که بتوان بیشترین ماده عملگر را با کمترین ناخالصی و حداقل تخریب به دست آورد از اهمیت بسزایی برخوردار است. به‌همین منظور این مطالعه با هدف معرفی و کاربرد برخی از این روش‌ها از قبیل امواج فراصوت، مایکروویو و میدان الکتریکی پالسی بر استخراج ترکیبات فنولی و ضد اکسنده مواد گیاهی و همچنین مکانیسم اثر آنها صورت پذیرفت. مطالعات مختلف نشان داد که استفاده از این فرایندها منجر به افزایش استخراج ترکیبات ضداکسنده از گیاهان مختلف می‌گردد که این ترکیبات قابلیت جایگزین شدن بعنوان ضداکسنده‌های مصنوعی موجود در بازار را دارا می‌باشند.

کلمات کلیدی: ضد اکسنده، استخراج، فراصوت، مایکروویو، میدان الکتریکی پالسی.

۱- مقدمه

اکسایش روغن‌ها و چربی‌ها در شرایط حرارتی و ذخیره‌سازی طولانی مدت، علاوه بر کاهش ارزش تغذیه‌ای و کیفیت حسی، عمر ماندگاری فرآورده را نیز کاهش داده و به دلیل تولید ترکیبات نامطلوب در روغن بر سلامت مصرف کنندگان آثار سوئی می‌گذارد، از این رو جلوگیری یا تاخیر در فرآیند اکسایش تحت شرایط حراراتی و انبارداری ضروری است [۱].

محصولات اکسیداسیون لیپیدها ویژگی‌های سرطان‌زایی، موتاژنیک[1] و سیتوتوکسیک[2] دارند و عامل خاطر برای سلامتی انسان هستند. این متابولیت‌ها باعث مشکلات سلامتی شدید می‌شوند پراکسیدهای چربی در گسترش سرطان در انسان نقش دارند و یک واکنش قوی بین پراکسیدهای چربی و مولکول DNA این موضوع را ثابت کرده است. به علاوه اکسیداسیون اسیدهای چرب باعث

[1] mutagenic
[2] cytotoxic

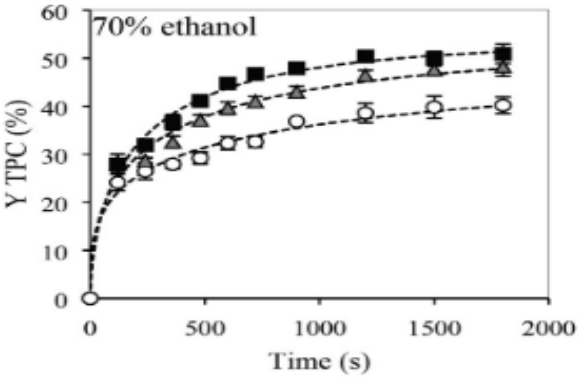
بیماری نورومیوپاتی[1] در اطفال و بزرگسالان می‌شود [۱۳]. روش‌های مختلفی برای کنترل فرآیند اکسایش روغن‌ها استفاده می‌شود که یکی از مهم‌ترین آن‌ها استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها است. استفاده از آنتی اکسیدان‌ها در رژیم غذایی برای کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس تحقیقات انجام شده پیش بینی می‌شود که عصاره طبیعی گیاهان کاربرد وسیعی به عنوان ضد اکساینده طبیعی برای بالا بردن کیفیت فرآورده‌های روغنی صنعت غذایی داشته باشد [۲].در سال ۱۹۹۵ آنتی‌اکسیدان‌ها را به عنوان موادی که وقتی در غلظت کم در سوبسترای اکسید شونده قرار می‌گیرد و به طور معناداری موجب به تاخیر افتادن و یا مهار اکسیداسیون سوبسترا می‌شوند تعریف کردند. در سال ۲۰۰۷، هالیول[2]، هر ماده‌ای را که باعث تاخیر، پیشگیری یا حذف آسیب اکسیداتیو شود را آنتی اکسیدان تعریف کرد. در همان سال کلبنیکو[3] و همکاران هر ماده‌ای که گونه‌های اکسیژن فعال را حذف کند یا حفاظت‌های آنتی‌اکسیدان‌ها را ارتقا دهد یا تولید گونه‌های اکسیژن فعال را مهار کند را آنتی اکسیدان نامیدند. بوتیلات هیدروکسی آنیزول[4] (BHA)، بوتیلات هیدروکسی تولوئن[5] (BHT) و ترشیاری بوتیل هیدروکینون[6] (TBHQ)، از متداول‌ترین آنتی اکسیدان‌های سنتزی می‌باشند و معمولاً بعد از مرحله بی بو کردن به روغن اضافه می‌شوند. اما طبق برخی از بررسی های انجام شده، استفاده از این نوع آنتی اکسیدان‌ها علیرغم نقش مؤثر در به تأخیر انداختن روغن‌ها، ممکن است تحت شرایطی با خطرات سرطان‌زایی، جهش‌زایی و یا اثرات سوء دیگری برای انسان همراه باشد [۱، ۱۰ و ۱۱]. ضایعات صنعت غذا، دارای سطح بالایی از ترکیبات فنولی هستند که برای محیط مضر می‌باشند، ولی اثر مثبت آن‌ها بر سلامتی انسان و خاصیت ضداکسایشی آن‌ها ثابت شده است [۳]. کاربرد روش‌هایی برای استخراج ترکیبات با ارزش گیاهی که بتوان بیشترین ماده عملگر را با کمترین ناخالصی و حداقل تخریب به دست آورد از اهمیت بسزایی برخوردار است. با بررسی روش‌های مختلف استخراج می‌توان در حضور مقدار کمی ماده اولیه و حلال در یک زمان کوتاه فرایند، استخراج را با حداقل تغییر در موقعیت ترکیبات با ارزش و تجزیه آن‌ها انجام داد. علاوه بر این، طبق نتایجی که محققان در این زمینه به دست آوردند با کاربرد روش‌های نوین ارزش تغذیه‌ای و فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره حاصل نسبت به روش‌های رایج بالاتر است. نکته مهم در کاربرد روش‌های نوین استخراج این است که ارزیابی‌های اقتصادی برای کاربردهای صنعتی این روش‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. تکنیک‌های کلاسیک جهت استخراج با حلال پلی فنل‌ها از ماتریکس‌های گیاهی، استخراج مایع- مایع بر پایه انتخاب حلال توأم با استفاده از همزن یا حرارت می‌باشد. با این حال این تکنیک‌ها اغلب زمان‌بر هستند، نیاز به مقادیر بالای حلال دارند و نیز برخی ترکیبات فعال طی آن‌ها تجزیه می‌شوند [۱۱]. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های جدید متعددی که به طور قابل ملاحظه‌ای مصرف حلال‌ها را کاهش می‌دهد و فرآیند استخراج را تسریع می‌نماید، توسعه یافته است. این تکنیک‌ها شامل روش استخراج به کمک مایکروویو، استخراج با فراصوت، استخراج با فرایند اهمیک، استخراج توسط سیال فوق بحرانی و استخراج توسط حلال تسریع یافته، می‌باشد. برای مثال یوسفی ماکویی و همکاران (۱۳۹۷)، تأثیر پیش تیمار امواج فراصوت و نوع حلال بر ظرفیت ضد اکسایشی و ترکیبات فنولی قهوه را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش تیمار فراصوت می‌تواند میزان استخراج ترکیبات فلاونوئیدی را افزایش دهد [۱] یا گوتری و همکاران (۲۰۲۰)، از سیال مادون بحرانی برای استخراخ ترکیبات فنولی از پوست کیوی سبز استفاده نمودند، متغیرهای مستقل در این مطالعه pH، درجه حرارت و زمان فرایند و نسبت حلال به ماده جامد بود. نتایج این مطالعه نشان داد که pH، درجه حرارت و زمان فرایند و نسبت حلال به ماده جامد در شرایط بهینه به ترتیب ۲، ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۰ دقیقه و ۲٪ بود که تحت این شرایط میزان ترکیبات فنولی ۵۱/۲ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم ماده خشک بود. در مجموع این محققین بیان داشتند که استفاده از سیال مادون بحرانی منجر به افزایش استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی نسبت به روش مرسوم از پوست کیوی می‌گردد. در این بخش به اختصار به توضیح برخی از این روش های نوین پرداخته شده است [۷].که در این بخش به اختصار به توضیح برخی از این روش های نوین پرداخته شده است.

[1] neuromyopathic
[2] Halliwell
[3] Khlebnikov
[4] Butylated hydroxyl anysol
[5] Butylated hydroxyl toluene
[6] Tert-butyl hydroquinone

۲- استخراج با فراصوت

استخراج با فراصوت به دلیل سادگی و تجهیزات کم هزینه مورد توجه قرار گرفته است. این تکنیک بر پایه استفاده از انرژی حاصل از امواج مافوق صوت با فرکانس بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز است که استخراج آنالیت‌ها را از نمونه جامد توسط حلال تسهیل می‌نماید، حلالی که براساس ماهیت ترکیبات موردنظر در استخراج انتخاب می‌شود [۸]. استخراج با فراصوت جهت استخراج ترکیبات گیاهی به منظور کوتاه کردن زمان استخراج، کاهش مصرف حلال، افزایش بازده استخراج و بهبود کیفیت عصاره‌ها استفاده شده است [۴]. سازوکار اصلی استخراج با امواج فراصوت به پدیده کاویتاسیون مربوط می‌شود. در طول فرآیند اولتراسونیک محیط مایع، امواج صوتی که به هم می‌ریزند و به محیط انتشار می‌یابند، چرخه‌های متناوب فشرده‌سازی (فشار زیاد) و کم فشار (فشار کم) ایجاد می‌کنند و یک پدیده کاویتاسیون مشاهده می‌شود که امکان مخلوط کردن شدید ذرات حلال و جامد را فراهم می‌کند. حباب‌های ناشی از انفجار باعث ایجاد ریزگردشی و برخورد شدید ذرات می‌شوند که منجر به افزایش انتشار داخلی و همچنین انتشار گردابی می‌شود. اومانا و همکاران (۲۰۲۰) از فراصوت به منظور استخراج ترکیبات فنولی از قارچ خوراکی استفاده کردند و بیان داشتند که استفاده از فرایند فراصوت منجر به افزایش ترکیبات مفید از قارچ می‌گردد (شکل ۱) [۹].

کاستاندا-والبونا و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که استفاده از فراصوت منجر به افزایش استخراج عصاره از پوست و دانه‌های گیاه انبه می‌گردد. نتایج این بخش با نتایج مجید و سیلوا (۲۰۲۰) که بیان داشته بودند با افزایش زمان فراصوت میزان راندمان استخراج عصاره از گیاه آریستوتلیا سراتا[1] که یک گیاه مناسب برای عملکرد بهتر مغز انسان و جلوگیری از بیماری آلزایمر می‌باشد، افزایش می‌یابد در تطابق بود [۴].



شکل ۱- تاثیر زمان فراصوت بر میزان ترکیبات فنولی کل

۳- استخراج به کمک ماکروویو (ریزموج)

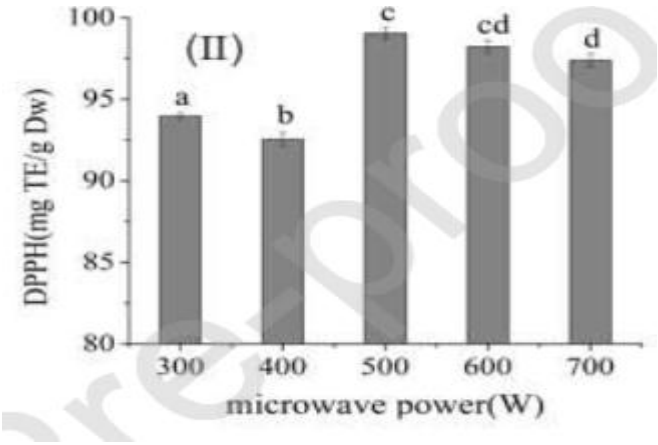
یکی از روش‌های نوین استخراج عصاره‌های گیاهی، استخراج با استفاده از امواج مایکروویو است. کاهش زمان استخراج، عملکرد و خلوص بالا، پایش دقیق واکنش توسط سنسورهای دما و فشار، امکان اتوماسیون، حرارت دهی یکنواخت و مصرف کم حلال از مزایای استخراج با امواج مایکروویو نسبت به روش‌های سنتی می‌باشند. از مزایای استخراج به کمک مایکروویو می‌توان به کاهش زمان استخراج و مصرف حلال، نفوذ سریع، سهولت کاربرد، افزایش بازدهی نهایی، انتقال موثر و سریعتر حرارت و کاهش مصرف انرژی اشاره کرد [۱۰]. در اکثر حلال‌ها به استثنای آب، روش استفاده از امواج ماکروویو مقدار ترکیب فنولی استخراج شده بیشتری نسبت به روش سنتی نشان داده است. علت کمتر شدن ترکیبات فنولی استخراج شده توسط آب این است که با وجود این که آب ضریب دی الکتریک بالایی دارد، اما فاکتور اتلاف آن پایین است و باعث تخریب حرارتی برخی ترکیبات فنولی می‌شود. فاکتور اتلاف میزان توانایی حلال برای جذب انرژی ماکروویو و انتقال آن به صورت حرارت به مولکول‌های اطراف است [۵]. پان و

[1] Aristotelia serrata

همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که استفاده از مایکروویو به علت تخریب بیشتر دیواره منجر به استخراج بیشتر ترکیبات فنولی از نوعی گل بومی می گردد که به نوبه خود منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره خواهد گردید [۷] (شکل ۲).

سانچز و همکاران (۲۰۱۷)، تأثیر ریزموج‌ها را بر سنتیک استخراج روغن و توکوفرول‌ها از دانه‌های کلزا مورد بررسی قرار دادند. این محققین در این مطالعه از هگزان و دماهای متفاوت (۲۹۸-۳۳۳ کلوین) و زمان‌های مختلف (۳۰۰-۶۴۸۰۰ ثانیه) برای استخراج روغن استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر زمان و دمایی استفاده از این امواج منجر به افزایش راندمان می‌شود و مدل انتشار فیک اصلاح شده برای فرایند استخراج روغن از دانه‌های کلزا بهترین مدل می‌باشد[۱۵].

فرانسو- وگا و همکاران در سال ۲۰۱۶، انتقال جرم در حین استخراج روغن با کمک ریزموج‌ها را از دانه‌های پرتقال مورد ارزیابی قرار دادند و بیان داشتند که این امواج علاوه بر افزایش راندمان استخراج، منجر به کاهش زمان فرایند نیز می‌شود. همچنین مشخص شد که اندازه ذرات، میزان رطوبت دانه‌ها و تأثیر متقابل این پارامترها بر میزان راندمان استخراج روغن تأثیر معنی‌دار دارد[۶]. اعرابی عرابانی و همکاران (۲۰۱۴)، از ریزموج‌ها و امواج فراصوت به‌عنوان پیش‌تیمار در استخراج روغن از دانه‌های موجود در تفاله گوجه‌فرنگی استفاده نمودند. در این مطالعه از پیش‌تیمارهای آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد، امواج فراصوت و ریزموج استفاده گردید. نتایج نشان داد که زمانی که از امواج ریزموج به‌عنوان مکمل فراصوت و آب گرم استفاده می‌شود، راندمان به میزان زیادی افزایش می‌یابد و مشخص گردید که استفاده از این دو تکنیک (امواج فراصوت و ریزموج) زمان فرایند روغن‌کشی را کاهش می‌دهد [۲].



شکل ۲- تاثیر توان مایکروویو بر توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH

۴- استخراج به کمک میدان الکتریکی پالسی (PEF[1])

روش میدان‌های الکتریکی با پالس‌های قوی فرایندی است که با استفاده از جریان الکتریسیته با ولتاژ بالا و تبدیل آن به پالس‌های با شدت بالا در بین دو الکترود (۲۰-۸۰ کیلوولت بر سانتی متر) به منظور تسریع و بهبود استخراج مواد موثره در مواد غذایی اجرا می‌شود. فرآیند میدان الکتریکی پالسی در درجه حرارت‌های معمولی و نیز کمتر یا بیشتر از آن در مدت زمان پایین‌تر از یک ثانیه اعمال شده و از این رو از دست رفتن انرژی و ارزش‌های تغذیه‌ای بر اثر حرارت دادن مواد غذایی به حداقل کاهش می‌یابد. مطالعات دلالت بر حفظ ترکیبات تغذیه‌ای موجود در مواد غذایی تحت اثر میدان الکتریکی پالسی دارد. مارتین گارسیو و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که استفاده از میدان الکترکی پالسی منجر به افزایش قدرت ضد اکسندگی عصاره حاصل از دانه‌های غلاتی مورد استفاده در فرایند تخمیر می‌شود[۶] (جدول ۱).

[1] Pulsed Electric Fields

لا و همکاران (۲۰۱۶) از میدان‌های الکتریکی متناوب برای تولید چربی از ریزجلبک‌ها استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود از میدان‌های الکتریکی متناوب با انرژی کم استفاده کردند و بیان داشتند که این فرایند می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های مرسوم استخراج چربی باشد [۹].

محققینی، پارامترهای موثر فرایند میدان الکتریکی متناوب در حین استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان را بررسی نمودند. آن‌ها در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف مانند شدت میدان الکتریکی، میزان فرکانس دستگاه، عرض پالس، زمان تیمار و در نهایت مقدار حلال را بر راندمان استخراج از دانه‌های آفتابگردان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد، زمانی که دانه‌ها برای ۹۰ ثانیه تحت تأثیر تیمار میدان الکتریکی متناوب با شدت ۷ kV/cm، فرکانس ۱/۵ Hz و عرض پالس ۳۰ µs قرار داشتند، راندمان استخراج روغن به میزان ۹/۱ درصد افزایش پیدا کرد. آن‌ها در پایان بیان داشتند که می‌توان از این فرایند برای استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان در مقیاس‌های بیشتر نیز استفاده نمود [۱۶].

تأثیر میدان‌های الکتریکی پالسی روی میزان ترکیبات زیست‌فعال استخراج شده و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات، در سال ۲۰۱۵ به‌وسیله ویکتور و همکاران مورد بررسی قرار گرفت، در این مطالعه از میدان‌های الکتریکی پالسی با شدت‌های kV/cm ۱/۸۵، ۳ و ۵ با تعداد ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ استفاده شد. نتایج این محققین نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های فراوری شده با PEF، تا ولتاژ kV/cm ۱/۸۵ و تعداد ۱۰ پالس، از میزان ترکیبات فنولی بالاتری برخوردار بودند. اما با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، میزان ترکیبات فنولی به خاطر تخریب ساختارشان در اثر امواج الکتریکی کاهش یافت [۱۹].

جدول ۱- تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر میزان ترکیبات فنولی مختلف دانه های غلاتی حاصل از تخمیر

Optimal conditions	Free phenolic compounds	Flavan-3-ols	Flavonoids	Phenolic acid derivates
E (KV/cm)	2.5	2.5	2.5	0.5
Frequency (Hz)	50	50	50	150
Total time (s)	14.5	15	15	5
Predicted (µg g^{-1} d.w.)	99 ± 2	10 ± 1	59 ± 1	56.1 ± 0.3
Obtained value (µg g^{-1} d.w.)	101 ± 2	10.1 ± 0.8	60 ± 2	55 ± 2
Significant differences	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

۵- نتیجه گیری

نتایج این مطالعه که به صورت مروری شکل گرفته بود، نشان داد که هر یک از فرایندهای مورد مطالعه در این تحقیق مانند مایکروویو، فراصوت و میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش استخراج ترکیبات فنولی از گیاهان مختلف می‌گردند که می‌توانند عصاره حاصل از این روش‌ها جایگزین ضد اکسنده‌های مصنوعی موجود در بازار شوند.

۶- مراجع

۱. یوسفی ماکویی، ه.، جلیل زاده، ع.، و آزادمرد دمیرچی، ص .(۱۳۹۷). تأثیر پیش تیمار امواج فراصوت و نوع حلال بر ظرفیت ضد اکسایشی و ترکیبات فنولی قهوه. مجله علوم و صنایع غذایی. جلد ۱۵. شماره ۷۵. صفحات ۱۰۰-۹۳.

2. Aarabi Arabani, A., hosseini, F. and Anarjan, N. (2014). Pre-processing and Oil Extraction from the Seeds of Tomato Wastes using Microwave and Ultrasound Treatments. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 4(1): 125-130.

3. Bera, D., Lahiri, D., and Nag, A. (2006). Studies on a natural antioxidant for stabilization of edible oil and comparison with synthetic antioxidants. Journal of food engineering, 74: 542-545.

4. Castañeda-Valbuena, D., Ayora-Talavera, T., Luján-Hidalgo, C., Álvarez-Gutiérrez, P., Martínez-Galero, N. and Meza-Gordillo, R. (2021). Ultrasound extraction conditions effect on antioxidant capacity of mango byproduct extracts.Food and Bioproducts Processing. 127: 212-224.

5. Dziki, D., Rozylo, R., Dziki, U. G., and Swieca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat brwad by the addition of plant materials rich in phenolic compounds, Trends in Food Scince and Technology, 40: 48-61.

6. Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E. and Lopez-Malo, A. 2016. Estimation of mass transfer coefficients of the extraction process of essential oil from orange peel using microwave assisted extraction. Journal of Food Engineering. 170: 136-143.

7. Guthrie, F., Wang, Y., Neeve, N., Young Quek, S., Mohammadi, K. and Baroutian, S. 2020. Recovery of phenolic antioxidants from green kiwifruit peel using subcritical water extraction. Food and Bioproducts Processing. 122: 136-144.

8. Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ahn, D. U., and Lee, S. C. (2004). Effect of Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Citrus Peels. Journal of Food Chemistry, 52: 33893397.

9. La, H.J., Choi, G.G., Cho, C., Seo, S.H., Srivastava, A., Jo, B.H., Lee, J.Y., Jin, Y.S. and Oh, H.M. 2016. Increased lipid productivity of Acutodesmus dimorphus using optimized pulsed electric field. journal applied phycology. 28:931–938.

10. Lijun, W., and Curtis, L.W. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends Food Science and Technology, 17: 300-312.

11. Mandal V, Mohan Y, Hemalatha S. (2007). Microwave assisted extraction-an innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. Pharmacognosy Reviews, 1 (1): 7.

12. Martín-García, B., Tylewicz, U., Verardo, V., Pasini, F., Gómez-Caravaca, A., Caboni, M. and Rosa, m. (2021). Pulsed electric field (PEF) as pre-treatment to improve the phenolic compounds recovery from brewers' spent grains, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 64: 1-39.

13. Olpin, S. E. (2005). Fatty acid oxidation defects as a cause of neuromyopathic disease in infants and adults. Clinical laboratory, 51 (5-6): 289-306.

14.Pan, C., Zhao, L. and Zhao, D. (2021). Microwave-assisted green extraction of antioxidant components from Osmanthus fragrans (Lour) flower using natural deep eutectic solvents, Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 20: 1-20.

15. Sanchez, R.J., Mateo, C.M., Fernandez, M.B. and Nolasco, S.M. (2017). Bidimensional modeling applied to oil extraction kinetics of microwave-pretreated canola seeds. Journal of Food Engineering. 192: 28–35.

16. Shorstkii, I., Sharifzadeh Mirshekarloo, M. and Koshevoi, E. (2015). Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: Lab scale parameters optimization. Journal of Food Process Engineering. 1-7.

17. Soni, M., Patidar, K., Jain, D., and Jain, S. (2010). "Ultrasound assisted extraction (UAE)": a novel extraction technique for extraction of neutraceuticals from plants. Journal of Pharmaceutical Research, 3: 636-638.

18. Umaña, M., Eim, V., Garau, C., Rosselló, C. and Simal, S. (2020). Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a β-glucan rich residue. Food Chemistry. 332: 1-10.

19. Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., Chudoba, T., Lojkowski, W. and Witrowa-Rajchert, D. (2015). The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 30: 69–78.

20. Xiao, X., Song, W., Wang, J., and Li, G. (2012). Microwave-assisted extraction performed in low temperature and in vacuo for the extraction of labile compounds in food samples. Analytica Chimica Acta, 712: 85-93.

21. Zaspé, E., and Fernández, K. (2011). The effect of different extraction techniques on extracion yield, total phenolic, and anti-radical capacity of extracts from Pinus radiata Bark. Ind. Crops Prod. 34, 838-844.