

جداسازی، استخراج روش‌های جامد-مایع، مایع-مایع در صنایع غذایی

نام و نام خانوادگی نویسنده اول : مریم فرنودی خشت مسجدی
دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی موسسه غیرانتفاعی مهرآیین بندرانزلی

نام و نام خانوادگی نویسنده دوم : فاطمه ضیاء ضیابری
عضوهیت علمی موسسه غیرانتفاعی مهرآیین بندرانزلی

چکیده

ترکیبات غذا یکی از حیاتی‌ترین بخش‌های زندگی روزمره برای تعیین طعم و کیفیت کلی غذاها است. اندازه‌گیری درک طعم غذا نقش مهمی در توسعه محصولات غذایی دارد. به منظور تعیین ترکیبات طعم دهنده مواد غذایی، روش‌های آماده‌سازی سریع، حساس و دقیق نمونه نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. این بررسی ابتدا به روش‌های استخراج مایع-جامد و مایع-مایع می‌پردازد و سپس مروری بر کاربرد این استخراج‌ها در صنایع غذایی ارائه می‌دهد. سپس، استفاده از چند تکنیک همراه با روش استخراج مایع-جامد و مایع-مایع برای تجزیه و تحلیل و جداسازی مواد فعال مورد بحث قرار می‌گیرد. استخراج مایع-جامد با استفاده از مایعات آلی و/یا معدنی و مخلوط آنها به عنوان حلال‌های استخراج کننده در تماس با یک ماتریس جامد نامحلول یا با استفاده از سیستم‌های فشار جوی متوالی که به فرآیندهای طولانی مانند خیساندن نیاز دارند انجام می‌شود. در مقایسه با سایر روش‌های استخراج، مزیت کلیدی استخراج مایع-مایع این است که برای تجزیه و تحلیل نمونه مواد غذایی مایع مناسب‌تر است و انجام آن آسان و سریع است. در این بررسی، پس از بررسی آخرین تکنیک‌های استخراج جامد-مایع و مایع-مایع، مروری بر کاربردهای استخراج سریع مایع-مایع در صنایع غذایی طی دو دهه گذشته ارائه شده است.

واژگان کلیدی: استخراج مایع-مایع، استخراج جامد-مایع، استخراج مواد فعال، صنایع غذایی

مقدمه

غذا یکی از حیاتی‌ترین بخش‌های زندگی روزمره است و برای بقای انسان ضروری است. طعم یک پارامتر کلیدی برای تعیین کیفیت کلی غذاها است (Dattatreya, Kamath, & Bhat, ۲۰۰۲; Premjit et al., ۲۰۲۲). از آنجایی که طعم، ادراک مبتنی بر طعم و بوی ترکیبی غذا است، کمی کردن طعم و بوی غذا برای طراحی منطقی طعم‌های مطلوب مفید است. هزاران ترکیب طعم دهنده در نمونه‌های غذایی یافت می‌شود، از جمله هیدروکربن‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، الکل‌ها، آلدئیدها، استرها، ترکیبات گوگردی، فوران‌ها و پیرازین‌ها. ماتریکس غذا بسیار پیچیده است زیرا معمولاً حاوی پروتئین، چربی، نمک، اسید، قلیایی و بسیاری دیگر از افزودنی‌های غذایی با خواص شیمیایی مختلف است. علاوه بر این، طعم غذا معمولاً در غلظت پایین در غذاها وجود دارد. بنابراین، انتخاب یک روش آماده‌سازی نمونه مناسب و توسعه روش‌های پیش تیمار ردیابی برای آنالیز طعم غذا بسیار مهم است (Jiang et al., ۲۰۲۳).

روش‌های اصلی پیش تصفیه که در حال حاضر برای تجزیه و تحلیل طعم غذا استفاده می‌شود شامل استخراج مایع-مایع (LLE)، استخراج فاز جامد-مایع، استخراج مایع فوق بحرانی است (Jiang et al., ۲۰۲۳). در مقایسه با سایر روش‌های استخراج، مزیت کلیدی استخراج مایع-مایع این است که برای تجزیه و تحلیل نمونه مواد غذایی مایع مناسب‌تر است و کارکرد آن آسان است. علاوه بر این، استخراج مایع-مایع بر بسیاری از محدودیت‌های سایر روش‌های استخراج برای تجزیه و تحلیل طعم غذا غلبه می‌کند. تا به امروز، روش استخراج مایع-مایع به طور گسترده‌ای برای شناسایی ترکیبات طعمی مشخص در نمونه‌های مواد غذایی (از جمله در نوشیدنی‌ها و محصولات کشاورزی، از جمله) استفاده شده است.

فرآیندهای استخراج مایع جامد، هر دو روش سنتی (خیساندن و نفوذ) و آنهایی که اخیراً معرفی شده‌اند (مانند استخراج سیال فوق بحرانی (SFE)، بر دو اصل اساسی استوار هستند: انتشار و/یا اسمز. بر اساس این اصول می‌توان پیش بینی‌های کلی در رابطه با سیستم استخراجی انجام داد و تقریباً می‌توان زمان استخراج و بازده را با توجه به یک ماتریس جامد عمومی (به طور کلی گیاهی) فرض کنید. در زمینه تکنیک‌های استخراج جامد-مایع، می‌توان تکنیک‌های استخراج معمولی، از جمله خیساندن، نفوذ، فشردن، استخراج خلاف جریان، استخراج از طریق سوکسله و تقطیر را از روش‌های غیر متعارف (یا نوآورانه) تشخیص داد. استخراج‌های معمولی سال‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرند، اگرچه دارای معایب زیادی هستند: آنها نیاز به استفاده از مقادیر زیادی از حلال‌های گران قیمت و خالص دارند، زیرا در طول فرآیند مقدار زیادی مصرف می‌کنند. آنها گزینش پذیری پایینی در استخراج دارند. آنها در طول فرآیند دارای نرخ تبخیر حلال بالایی هستند. و عموماً با زمان استخراج طولانی و تجزیه حرارتی ترکیبات حساس به گرما مشخص می‌شوند (Wang & Weller, ۲۰۰۶). برای غلبه بر همه این محدودیت‌ها، تکنیک‌های جدید و امیدوارکننده استخراج مایع جامد، که به عنوان غیر متعارف تعریف می‌شوند، عمده‌تاً در زمینه صنعتی معرفی شده‌اند، مانند استخراج سیال فوق بحرانی (SFE) (Khaw et al., ۲۰۱۷)، استخراج سریع جامد-مایع (RSLDE) (Naviglio, ۲۰۰۳). از سوی دیگر، اخیراً توجه جامعه علمی به مطالعه فرآیندهای پایدار معطوف شده است، بنابراین تمام این تکنیک‌های استخراج دارای اهداف مشترکی هستند، از جمله استخراج مواد فعال (ترکیبات فعال زیستی) از ماتریس‌های گیاهی. در نهایت، توسعه آینده و کاربرد بالقوه روش استخراج مایع-مایع و مایع - جامد همراه با مواد در حال ظهور و اتوماسیون در زمینه تجزیه و تحلیل طعم غذا مورد بحث قرار می‌گیرند. هدف این بررسی ارائه یک مرور مختصر از تکنیک‌های مختلف استخراج است که عمده‌تاً در زمینه‌های مختلف کاربرد آن از جمله صنایع غذایی تمرکز دارد.

استخراج جامد-مایع

تکنیک‌های استخراج جامد-مایع اساس بسیاری از روش‌های تحلیلی برای آماده‌سازی نمونه‌ها هستند (Cunniff & Washington, ۱۹۹۷). از سوی دیگر، آنها برای تولید مقادیر کمی از عصاره‌های خانگی مانند نوشیدنی‌های الکلی و چای‌های گیاهی استفاده می‌شوند (Liguori et al., ۲۰۱۸; Willson & Clifford, ۲۰۱۲). این روش‌های استخراج برای تولید صنعتی نیز اعمال می‌شود. در واقع، در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، مرحله اولیه آماده‌سازی یک محصول نیازمند استفاده از روش استخراج جامد-مایع برای جداسازی مواد قابل استخراج موجود در ماتریس‌های جامد، عمده‌تاً سبزیجات است. یک مثال مهم توسط گیاهان دارویی نشان داده شده است که از آنها

مواد فعال با خواص دارویی به دست می آید. کاربرد این تکنیک در زمینه های مرتبط با گیاهان دارویی، آرایشی و بهداشتی و عطرسازی می باشد. در سایر بخش های صنعتی مانند صنعت نوشیدنی، از استخراج مایع جامد برای به دست آوردن عصاره الکلی پوست میوه، گل، برگ و غیره استفاده می شود که سپس با آب و شکر مخلوط می شود تا محصول نهایی به دست آید (Aspé & Fernández, ۲۰۱۱). استخراج جامد-مایع بر یک پدیده ساده استوار است: اگر یک ماتریس جامد حاوی ترکیبات قابل استخراج در یک مایع غوطه ور شود، ماده دوم شروع به غنی سازی خود با برخی مواد مرتبط شیمیایی می کند که از داخل به سطح جامد و سپس از آن حرکت می کنند. این اصل مبتنی بر فرآیند انتشار و اسمز است و به روش خیساندن که ساده ترین و مقرون به ترین تکنیک استخراج است انجام می شود و به همین دلیل بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. فرآیند خیساندن فقط به یک ظرف شیشه ای یا فولادی ضد زنگ درب دار نیاز دارد که در آن جامد قابل استخراج با مایع پوشانده شده است. برای غلبه بر اشباع سریع مایع در اطراف جامد، به هم زدن نیاز است. متأسفانه، همیشه قابل اجرا نیست، زیرا به زمان تماس طولانی بین جامد و مایع نیاز دارد. به عنوان مثال، گیاهان را نمی توان به دلیل پدیده پوسیدگی برای مدت طولانی در آب در دمای اتاق خیس کرد. نیازهای تولیدی صنعت که مستلزم دستیابی به حجم زیاد عصاره در زمان کوتاه است، در فرآیند استخراج کاربرد پیدا کرده است. در این حالت می توان مقادیر زیادی از مواد جامد را با حجم زیاد مایع پردازش کرد و عصاره را به سرعت به دست آورد، البته بازده استخراج را به خطر می اندازد، که به دلیل تماس محدود بین جامد و مایع استخراج کننده پایین باقی می ماند (Aspé & Fernández, ۲۰۱۱). در این مورد، ماتریس جامد به طور کامل اشباع نشده است و می توان با تکنیک دیگری دوباره استخراج کرد.

برای کاربردهای خاص مانند تولید اسانس و به طور کلی ترکیبات با فشار بخار کم می توان به تقطیر با بخار آب متوسل شد (Božović et al., ۲۰۱۷). این تکنیک استخراج جامد-مایع از این جهت خاص است که به انتقال ترکیبات فرار از طریق جریان بخار نیاز دارد. از آنجایی که محصول جدا شده یک اسانس است، می توان آن را یک تکنیک استخراج جامد-مایع در نظر گرفت. در هر صورت، سیستم استخراج در معرض حرارت قوی قرار می گیرد. بنابراین، ترکیبات حرارت پذیر دستخوش دگرگونی می شوند و در نتیجه، تقطیر با بخار اغلب قابل استفاده نیست. این مثال ها نشان می دهند که هر یک از تکنیک های استخراج جامد-مایع که در حال حاضر استفاده می شوند، به دلیل محدود بودن، کاربرد جهانی ندارند. علاوه بر این، اصول استخراجی که آنها بر اساس آن تعریف شده اند اساساً با پدیده انتشار و اسمز مواد موجود در جامد مرتبط است که تمایل دارند پس از استخراج کل حجم مایع استخراج کننده را اشغال کنند. بنابراین، همزدن بی رویه در استخراج ضروری است. برای افزایش کارایی این سیستم های استخراج و کاهش زمان استخراج، از افزایش دما استفاده می شود که بر افزایش انتشار (قانون فیک) تأثیر می گذارد تا زمان استخراج و افزایش بازده را کاهش دهد. به طور کلی، این مصلحت اغلب برای ماتریس های گیاهی (بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد) قابل استفاده نیست، زیرا آنها حاوی موادی هستند که در اثر گرما تجزیه می شوند (Joana Gil-Chávez et al., ۲۰۱۳; Prado & Rostagno, ۲۰۲۲).

استفاده از اولتراسونیک برای استخراج مواد موثره از گیاهان دارویی نتایجی مشابه استخراج با فشار (فشردن) دارد. علاوه بر این، سیستم به دلیل عملیات طولانی مدت گرم می شود، ماتریس جامد کاملاً خرد می شود و مخلوطی به دست می آید که جدا کردن آن بر اساس ترکیبات آن بسیار دشوار است. از جمله، استفاده از انرژی فراصوت بیش از ۲۰ کیلوهرتز ممکن است از طریق تشکیل رادیکال های آزاد بر فیتوکمیکال های فعال تأثیر بگذارد (Esclapez et al., ۲۰۱۱). با این حال، UAE^۱ به دلیل سرعت، مزیت اقتصادی و فناوری نسبتاً کم هزینه آن، یکی از تکنیک های مورد استفاده در صنعت برای استخراج ترکیبات زیست فعال است. در نتیجه، در بسیاری از موارد، اولتراسونیک می تواند جایگزین خوبی برای پرس باشد، زیرا سیستم استخراج را ساده می کند (Gallo, Ferrara, & Naviglio, ۲۰۱۸). یک روش استخراج جایگزین مبتنی بر استفاده از سیالات فوق بحرانی است که عمدتاً مبتنی بر استفاده از دی اکسید کربن است. در فاز فوق بحرانی، دی اکسید کربن ویژگی های یک حلال غیر قطبی را به خود می گیرد و قابل مقایسه با n-هگزان مایع است. بنابراین با این روش می توان ترکیبات غیر قطبی را از ماتریس جامد استخراج کرد. مزیت این تکنیک این است که در پایان استخراج، حلال، دی اکسید کربن، به شکل گاز حذف می شود و امکان بازیابی ترکیبات غلیظ استخراج شده با تأثیر محیطی بسیار کم (استخراج سبز) را فراهم

^۱ ultrasound-assisted extraction

می‌کند. این تکنیک در سطح صنعتی کاربردهایی دارد، مانند استخراج روغن از دانه‌ها، کافئین از قهوه، نیکوتین از تنباکو و غیره (Jesus, ۲۰۱۴; Meireles, &), اما به دلیل دشواری تغییر قطبیت دی اکسید کربن و تداخل آب موجود در جامدات، هنوز بسیار گران است و در سراسر جهان قابل استفاده نیست (Sánchez-Camargo et al., ۲۰۱۹).

یکی دیگر از روش‌های استخراج، استخراج سوکسله است که به عنوان یک روش استخراج رسمی (Horwitz, ۲۰۱۰) برای روش‌های تحلیلی متعددی که در آن‌ها آماده‌سازی اولیه یک عصاره نمونه جامد انتظار می‌رود، گزارش شده است. روش سوکسله همچنین از گرمایش سیستم استفاده می‌کند، زیرا بر اساس اصول انتشار و اسمز است، بنابراین نمی‌توان از آن برای موادی استفاده کرد که در اثر حرارت تجزیه می‌شوند (Jensen, ۲۰۰۷). استخراج سوکسله روش خوبی برای استخراج مواد با نقطه جوش بالا مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH)، پلی کلروبی فیل ها (PCBs)، دیوکسین، تری گلیسیرید و غیره است. امروزه یک روش بهبود یافته برای انجام استخراج سوکسله Soxtec نامیده می‌شود (Anderson, ۲۰۱۹). این فرآیند بر اساس همان اصول است. با این حال، به لطف کنترل فشار، امکان تسریع در گردش مجدد حلال استخراج شده وجود دارد. به این ترتیب، فرآیند حدود ۱۰ برابر سریعتر است (Carro et al., ۲۰۱۸).

برای افزایش بازده استخراج و کاهش زمان، می‌توان از استخراج تسریع شده با حلال (ASE) استفاده کرد (Molino et al., ۲۰۱۸). این تکنیک مبتنی بر افزایش انتشار است، زیرا استخراج جامدات با استفاده از مایعاتی که بالاتر از دمای جوش خود هستند، در حالی که با افزایش فشار در حالت مایع باقی می‌مانند، ممکن است. ماده‌ای که باید استخراج شود در یک ظرف فولادی استوانه‌ای قرار می‌گیرد و حلال استخراج اضافه می‌شود. دمای سیستم بالاتر از نقطه جوش حلال است که به لطف افزایش همزمان فشار در حالت مایع حفظ می‌شود (ویال برای مقاومت در برابر مقادیر فشار بالا: ۱۰۰-۲۰۰ بار مهر و موم شده است). پس از یک دوره تماس کوتاه، ماتریس جامد به طور کامل استخراج می‌شود. با این تکنیک، استخراج ترکیبات ناپایدار نسبت به حرارت ممکن نیست (He, Du, & Xu, ۲۰۱۸).

روش‌های مختلف استخراج جامد - مایع

استخراج سیال فوق بحرانی (SFE)

این تکنیک بر اساس امکان استفاده از یک حلال استخراجی است که یک سیال (معمولاً دی اکسید کربن) با خواصی است که بین گازها و مایعات حد واسط است که سیال فوق بحرانی نامیده می‌شود. از طریق تغییرات متوسط دما و/یا فشار، می‌توان خواص گازها را در محدوده وسیعی تعدیل کرد و از اهمیت آنها برای کنترل رفتار فاز در فرآیندهای استخراج/جداسازی استفاده کرد. در عمل، بالاتر از دمای بحرانی، می‌توان به طور مداوم حلالیت سیال را در یک محدوده وسیع تنظیم کرد، چه با یک تغییر کوچک در فشار همدم یا با یک تغییر دمای ایزوباریک کوچک. این توانایی برای تنظیم قدرت حلال یک سیال فوق بحرانی، ویژگی اصلی سیستم‌های SFE است. از این حلال‌ها می‌توان برای استخراج و سپس بازیابی موثر محصولات انتخاب شده استفاده کرد. از آنجایی که سیالات فوق بحرانی دارای چگالی، ویسکوزیته و سایر خواصی هستند که حد واسط بین خواص ماده در حالت گازی و ماده در حالت مایع هستند، اولین و بارزترین مزیت این روش این است که در پایان فرآیند استخراج دی اکسید کربن به دما و فشار محیط می‌رسد و در نتیجه گازی شدن مواد استخراج شده از ماتریکس جامد را ترک می‌کند. این واقعیت SFE را به یک تکنیک سبز برای استخراج جامد-مایع تبدیل می‌کند. مزیت دوم با بهترین سرعت‌های انتقال نشان داده می‌شود: اگرچه چگالی سیالات فوق بحرانی به چگالی مایعات معمولی نزدیک است، اما خواص انتقال آنها به گازها نزدیک تر است. به عنوان مثال، ویسکوزیته چندین مرتبه کمتر از مایعات است، و ضرایب انتشار یکسان ۱۰۰ برابر بزرگتر از ضرایب معمولی است که در مایعات معمولی مشاهده می‌شود. انتخاب CO₂ به عنوان یک سیال فوق بحرانی مزایای زیر را ارائه می‌دهد: از طریق ماتریس‌های استخراجی سریعتر از حلال‌های معمولی که دارای اندازه مولکولی بزرگتر هستند پخش می‌شود. ارزان است و به راحتی می‌توان آن را به دست آورد (Sharif et al., ۲۰۱۴; Naviglio et al., ۲۰۱۹). ضرایب انتشار بالاتر و ویسکوزیته کمتری نسبت به حلال مایع دارد. دارای نفوذپذیری قوی است، بنابراین زمان استخراج می‌تواند به طور قابل توجهی کوتاهتر از زمان مورد نیاز برای استخراج با یک حلال معمولی باشد. بی بو، غیر سمی است، نمی‌سوزد، منفجر نمی‌شود و به لایه اوزون آسیب نمی‌رساند. دمای کار نزدیک به دمای اتاق (۳۱.۱ درجه سانتیگراد) است، به ویژه برای مواد حساس به حرارت، که با عملیات حرارتی

تجزیه می‌شوند، مناسب است. بازیابی ساده و راحت است و می‌توان آن را بدون درمان بازیافت کرد. استخراج و حذف در یک تکنیک واحد ترکیب می‌شوند و زمان پردازش را به روشی ساده و راحت به طور قابل توجهی کوتاه می‌کنند (Da Silva, Rocha-Santos, & Duarte, ۲۰۱۶). فناوری سیال فوق بحرانی ویژگی‌هایی را ارائه می‌دهد که بر بسیاری از محدودیت‌های روش‌های استخراج مرسوم غلبه می‌کند. با این حال، محدودیت این روش شامل نیاز به تجهیزات تخصصی و همچنین ظرفیت انحلال پذیری کمتر برای ترکیبات محلول در آب است که می‌توان تا حدی با افزودن مایعات قطبی (متانول و استون) حل کرد. SFE بهترین انتخاب برای استخراج مواد غیر قطبی، مانند نیکوتین از تنباکو، کافئین از قهوه، و روغن از دانه‌ها، در مقیاس صنعتی است. این فناوری استخراج کاملاً سبز است. متأسفانه این تکنیک بسیار گران است، به پرسنل متخصص نیاز دارد و همه کاره نیست (Naviglio et al., ۲۰۱۹).

استخراج سریع جامد-مایع (RSLDE)

RSLDE که در سال ۲۰۰۰ معرفی شد (Naviglio, ۲۰۰۰)، جایگزین معتبری برای تمام تکنیک‌های استخراج جامد-مایع موجود است و مزایای قابل توجهی در به دست آوردن عصاره‌های با کیفیت بالا به ارمغان می‌آورد. اول از همه، نیازی به گرم کردن سیستم استخراج نیست، زیرا عمل انجام شده مکانیکی است. تکنیک‌های استخراج فعلی (نفوذ، سوکسله، تقطیر جریان بخار و اولتراسوند)، بر اساس اصول اسمز و انتشار، نیاز به افزایش دما برای افزایش راندمان استخراج دارد. با این حال، در مورد ترکیبات حرارت پذیر، همانطور که در زیر گزارش شده است، افزایش دما به تخریب آنها کمک می‌کند. RSLDE به چند چرخه استخراج نیاز دارد، حدود ۳۰ (بسته به ماتریس، اما همیشه در عرض چند ساعت)، تا تعداد زیادی از ماتریس‌های گیاهی را به فرسودگی کامل برساند. در مقایسه با خیساندن، روش استخراج RSLDE برای بسیاری از فرآورده‌ها، ثابت شده است که سریع و جامع است. علاوه بر این، به دلیل کاهش زمان استخراج، می‌توان از آب به عنوان مایع استخراج کننده برای بسیاری از کاربردها استفاده کرد، در حالی که تماس طولانی ماتریس جامد گیاه با آب برای خیساندن غیر قابل تصور است. RSLDE یک تکنیک ارزان قیمت است (Posadino et al., ۲۰۱۸).

به طور خلاصه، مزایای اصلی RSLDE به شرح زیر است: فرسودگی در مدت زمان کوتاه، با ماتریس‌های جامد حاوی مواد قابل استخراج، در دمای عملیاتی پایین (محیط یا محیط فرعی)، تکرارپذیری عصاره از آنجایی که امکان استانداردسازی عصاره‌ها برای مواد موثره آنها با تضمین تولید عصاره‌های با کیفیت بالا وجود دارد. از یک مقایسه دقیق بین ویژگی‌های اصلی هر یک از تکنیک‌های استخراج جامد-مایع که در بالا توضیح داده شد، می‌توان بیان کرد که در حال حاضر، هیچ تکنیکی به طور همزمان تمام مزایای ارائه شده توسط RSLDE را از نظر گرانشی مواد جامد فراهم نمی‌کند. از سوی دیگر، RSLDE به دلیل سهولت استفاده، مصرف کم انرژی و سرعت فرآیند استخراج، می‌تواند به عنوان یک تکنیک اکتشافی و تحقیقاتی برای ماتریس‌های جامد که هنوز شناخته نشده‌اند و می‌توان از آن برای مقابله استفاده کرد. RSLDE در فرآورده‌هایی که در آنها تثبیت مواد در داخل جامد مهم است، مانند عملیات دباغی چرم که در آن هم محلول‌های کروم و هم محلول‌های حاوی تانن طبیعی استفاده می‌شود به طور سودمند استفاده شده است. علاوه بر این، RSLDE کاربردهای مهمی در صنعت نوشیدنی برای تهیه بسیاری از نوشیدنی‌های الکلی پیدا می‌کند. عصاره از الکل اتیلیک پوست مرکبات (لیمو، ماندارین، پرتقال و غیره) و تونیک‌ها و عصاره‌های گیاهی به دست آمده است. در صنعت عطرسازی، می‌توان با جایگزین کردن خیساندن با RSLDE، عصاره گیاهان معطر به دست آورد. به همین ترتیب، فرمولاسیون فرآورده‌ها در آرایشی و بهداشتی و گیاه‌پزشکی نسبت به تکنیک‌های کلاسیک بهبود یافته است و تغییرات در عصاره‌های به دست آمده را می‌توان تعیین کرد. به طور خلاصه، کاربرد این فناوری بسیار ساده است. برای عملکرد به انرژی کمی نیاز دارد، زمان استخراج کم است (دو ساعت زمان مرجع است)، و تخریب نمی‌شوند. علاوه بر این، امکان اعمال RSLDE در دمای کمتر از دمای اتاق وجود دارد (Naviglio et al., ۲۰۱۹).

کاربردهای استخراج سریع جامد-مایع در صنایع غذایی

در بخش مواد غذایی، هم در تولید و هم در تحقیقات، RSLDE به طرق مختلف استفاده شده است. لیکوپن، کاروتنوئیدی که مسئول رنگ قرمز بسیاری از میوه‌ها و سبزیجات است، برای عملکرد آنتی اکسیدانی آن مهم می باشد. از این رو استخراج آن در بخش‌های مختلف مورد توجه است. در واقع می‌توان از آن هم برای فرمولاسیون غذاهای کاربردی و هم در لوازم آرایشی استفاده کرد. علاوه بر این، لیکوپن را می‌توان از ضایعات فرآوری گوجه فرنگی تنها با استفاده از آب به عنوان مایع عصاره استخراج کرد. استفاده از آب به عنوان فاز استخراج به طور قابل توجهی هزینه کل فرآیند را در مقایسه با روش متداول مبتنی بر حلال یا با فرآیند استخراج فوق بحرانی جدیدتر لیکوپن از ضایعات گوجه فرنگی کاهش می‌دهد. لیکوپن، غیر محلول در آب، به شکل جامد شبه کریستالی بازیابی شده و با استخراج فاز جامد با استفاده از مقدار کمی حلال آلی خالص شد. (Naviglio, Pizzolongo, & Ferrara, ۲۰۰۸) لیکوپن را می‌توان به عنوان رنگ و/یا یک آنتی اکسیدان طبیعی استفاده کرد. علاوه بر این، از طریق RSLDE، تولید لیمونسل، یک لیکور لیمو، تنها در دو ساعت امکان پذیر است و از خیساندن طولانی سنتی که ۷ تا ۱۴ روز طول می‌کشد اجتناب می‌شود (Naviglio et al., ۲۰۰۷).

در مقاله ای توسط Formato و همکاران. (۲۰۱۳)، دو تکنیک استخراج جامد-مایع، استخراج سیال فوق بحرانی (SFE) با و بدون اصلاح کننده و استخراج مایع جامد تحت فشار چرخه ای یا RSLDE، بر اساس استخراج ترکیبات اسیدی موجود در رازک مقایسه شدند. نتایج نشان داد که هر دو روش برای استخراج اسیدهای α و β از رازک معتبر هستند. با تغییر مناسب پارامترهای دو روش استخراج، امکان به دست آوردن عصاره برای استفاده در تولید آبجو و مکمل‌های غذایی و داروها وجود داشت (Formato et al., ۲۰۱۳).

در کار دیگری توسط Naviglio و همکاران (۲۰۱۴)، فرآیند استخراج برای تولید اکسیر Cinchona calisaya که از همان مخلوط گیاهی شروع می‌شود، توسط خیساندن معمولی و RSLDE انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با روش مرسوم، RSLDE برای استخراج در دمای اتاق با استفاده از فشار استخراج چرخه‌ای مجاز است. به این ترتیب، می‌توان از تنش حرارتی بر روی مواد حساس به حرارت اجتناب کرد و در عین حال زمان استخراج را کاهش داد (Naviglio, Formato, & Gallo, ۲۰۱۴).

علاوه بر این، RSLDE می‌تواند یک رویکرد نوآورانه برای افزایش تولید ترکیبات خاص از ضایعات مواد غذایی برای استفاده به عنوان مواد مغذی یا به عنوان مواد تشکیل دهنده در طراحی غذاهای کاربردی ارائه دهد. همانطور که در حال حاضر شناخته شده است، تفاله انگور یک محصول جانبی از شراب سازی است که می‌تواند به راحتی به روش‌های مختلف، از جمله مصارف کشاورزی و همچنین کاربردهای صنایع آرایشی و بهداشتی مورد استفاده مجدد قرار گیرد. علاوه بر این، محصولات جانبی همچنین می‌توانند در زمینه انرژی به عنوان زیست توده برای تولید بیوگاز یا برای کارخانه‌های غذایی مورد استفاده برای تولید انرژی استفاده شوند. به عنوان یک ارزش افزوده، تفاله انگور حاصل از تولید شراب نیز حاوی ترکیبات زیست فعال متعددی است. گالو و همکاران (۲۰۱۹)، برای استخراج پلی فنل‌ها، پوست انگور از طریق RSLDE پردازش شد، که نیازی به استفاده از هیچ حلال آلی ندارد، و همچنین شامل فرآیندهای گرمایش یا خنک کننده نیست که می‌تواند باعث از بین رفتن مواد مورد مغذی شود (Gallo et al., ۲۰۱۹). با این حال، در چارچوب اصول راهنما برای نوآوری زیست محیطی، که هدف آن اقتصاد بدون زباله است، بسیاری از باقیمانده‌ها این پتانسیل را دارند که به عنوان مواد اولیه برای محصولات و برنامه‌های جدید و در سایر سیستم‌های تولید، مانند سیستم‌های تغذیه‌ای مورد استفاده مجدد قرار گیرند.

استخراج مایع - مایع

استخراج مایع - مایع یک عملیات انتقال جرم رایج برای جداسازی اجزای تشکیل دهنده مایع (خوراک) از طریق تماس با فاز مایع دیگر (حلال) است که منجر به تولید جریان غنی از حلال به نام عصاره در کنار مایع باقی‌مانده‌ای می‌شود که املاح از آن خارج شده است. استخراج مایع - مایع در تعدادی از فرآیندها از جمله بازیابی محصولات از آبگوشت تخمیر، فرآوری مواد غذایی و دارویی، تصفیه فاضلاب صنعتی و غیره کاربرد پیدا می‌کند. این روش برای جداسازی آنها از تغییرات در خواص شیمیایی اجزای مایع بهره می‌برد، (به عنوان مثال، تفاوت در قطبیت و ویژگی آبگریز/آب دوست). اجزایی که از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌شوند، علاوه بر برهم‌کنش‌های بین فاز حلال و اجزای مایع که ماهیت حالت تعادل را تعیین می‌کنند، توسط انحراف از تعادل ترمودینامیکی هدایت می‌شوند (Schlosser et al., ۲۰۰۱). استخراج از زمان‌های بسیار قدیم در حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد برای بازیابی محصولات از چندین منبع طبیعی در

عمل بوده است. تولید روغن‌های دارویی، موم‌ها و عطرها در متن سومری مربوط به ۲۱۰۰ سال قبل از میلاد ثبت شده است. روش معاصر استخراج مایع - مایع در اواسط تا اواخر قرن نوزدهم پیشینه خود را دارد در حالی که استخراج با پیشرفت در ترمودینامیک و طراحی دستگاه استخراج به یک تکنیک آزمایشگاهی قابل توجه تبدیل می‌شود. معرفی صنعتی فناوری استخراج مایع - مایع طی دوره ای از حدود ۱۹۲۰ تا ۱۹۷۰ اتفاق افتاد. امروزه استخراج مایع - مایع یک فناوری همه کاره با طیف گسترده‌ای از کاربردهای تجاری است که عمدتاً به دلیل تنوع گسترده و طرح‌های فرآیند ایجاد شده و در دسترس بودن تعداد زیادی حلال و استخراج کننده‌های تجاری مورد توجه قرار گرفته است (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

استخراج مایع - مایع یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های آماده‌سازی نمونه است که گزینش پذیری بالاتری نسبت به روش‌های استخراج با حلال ساده دارد. استخراج مایع - مایع همراه با استخراج فاز جامد، احتمالاً قدیمی ترین روشی است که برای تعیین ترکیبات شیمیایی مختلف در غذاهای با منشأ حیوانی استفاده می‌شوند. طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، آنتی‌بیوتیک‌ها بیشتر در شیر و تخم‌مرغ و کمتر در مرغ، غذای نوزاد و میگو شناسایی شده‌اند. این یک تکنیک آماده سازی اولیه برای طیف وسیعی از نمونه‌های آبی است (Alampanos, ۲۰۱۷; Samanidou, & Papadoyannis, ۲۰۱۹; Junza et al., ۲۰۱۴; Lorenzetti, Domini, & Lista, ۲۰۱۷).

در استخراج مایع - مایع، آنالیت‌ها از یک نمونه آبی به یک حلال غیر قابل امتزاج با آب منتقل می‌شوند. تفاوت در حلالیت بین دو فاز بر استخراج آنالیت‌ها و انتقال آنها از فاز مایع اول به فاز دوم تأثیر می‌گذارد. علیرغم کاربرد وسیع و عملکرد تحلیلی خوب، استخراج مایع - مایع دارای معایبی از جمله تشکیل امولسیون، از دست دادن آنالیت، آلودگی نمونه، حساسیت کم، مشکلات در اتوماسیون، نیاز به حجم زیاد نمونه و حلال‌های آلی است (Han & Row, ۲۰۱۲; Kinsella et al., ۲۰۰۹; Lorenzetti, Domini, & Lista, ۲۰۱۷).

امروزه استخراج مایع - مایع تکنیکی پرهزینه، وقت گیر، بهبود و مضر با محیط زیست است که مغایر با اصول شیمی تجزیه سبز (GAC) است. انواع مختلفی از این تکنیک مانند استخراج ریز فاز مایع (LPME)، استخراج نمک از استخراج مایع - مایع (SALLE) و سیستم دو فاز آبی (ATPS) برای استخراج استفاده شده است (Khatibi, Hamidi, & Siahi-Shadbad, ۲۰۲۲). امروزه، توسعه بیشتر "سبز" و میکروتکنیک در درمان نمونه به یک روند تبدیل شده است. در این راستا، معرفی روش‌های کوچک استخراج مایع - مایع منجر به کاهش زمان استخراج و مصرف حلال‌های آلی شده است (Khatibi, Hamidi, & Siahi-Shadbad, ۲۰۲۲).

انواع استخراج مایع-مایع

استخراج معمولی

استخراج معمولی یا استخراج استاندارد را استخراج تک حلالی یا استخراج ساده نیز می‌نامند. این بهترین عملیات استخراج رایج است که با استفاده از جریان مخالف یا جریان متقاطع حلال، پردازش تک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای و عملیات پیوسته یا دسته‌ای انجام می‌شود. این فرآیند شامل انتقال اجزا از فاز تغذیه به فاز متفاوت است. به جز اگر ضریب جداسازی برای املاح ترجیحی نسبت به املاح نامطلوب بسیار بالاتر باشد، این روش معمولاً نمی‌تواند به خلوص املاح خالص تر دست یابد (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

استخراج تجزیه‌ای

این سیستم فرآیندی معمولاً شامل تقسیم بازهای ضعیف یا اسیدهای آلی در میان یک حلال آلی و آب است. در اینجا با در نظر گرفتن فایده واریانس در مقادیر pKa آنها، جداسازی شدید املاح خوراک حاصل می‌شود. اگر عدم تشابه pKa کافی باشد، نظارت بر pH در یک مقدار دقیق می‌تواند مقادیر K بالاتری را برای یکی از بخش‌های املاح و مقادیر کمتری را برای دیگری ایجاد کند، در نتیجه جداسازی شدیدی ایجاد می‌کند (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

استخراج واکنشی

این فرآیند شامل ایجاد برهمکنش‌های برگشت پذیر عصاره - املاح علاوه بر نسبت‌های تقسیم‌بندی بهبود یافته برای کمک به جداسازی پیش‌بینی شده است. این شامل ترکیبی از واکنش و همچنین جداسازی در همان عملیات واحد، اجرای یک واکنش در حضور دو فاز مایع

علاوه بر بهره‌مندی از تقسیم‌بندی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات، بین دو فاز برای افزایش عملکرد واکنش است (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

استخراج نوسان دما

این فرآیند از تغییر در مقدار K با استفاده از دما بهره می‌برد. زمانی که برهمکنش‌های حلال-املاح در یک یا هر دو فاز شامل برهمکنش‌های جذاب خاص مانند پیوندهای هیدروژنی یا تشکیل پیوندهای جفت یونی (مانند برهمکنش‌های اسید تری آلکامین-کربوکسیلیک) و غیره باشد، مقادیر K می‌توانند بیشتر به دما حساس باشند (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

استخراج حلال مبتنی بر غشاء

برای جداسازی املاح مانند فلزات، اسیدهای آلی و غیره، تراوش از طریق غشاهای مایع (LM) علاوه بر استخراج با حلال مبتنی بر غشاء (MBSE) استفاده شده است [۶-۹]. MBSE جایگزینی برای استخراج با حلال معمولی از پراکندگی فاز مایع که با مشکلات تشکیل امولسیون و همچنین با حباب قطرات حلال و از دست دادن آن در بسیاری از سیستم‌ها مرتبط است، اجتناب می‌کند. LM گزینش پذیری خوب، جایجایی آسان علاوه بر سرمایه کم و همچنین هزینه‌های عملیاتی مناسب را ارائه می‌دهد، همچنین فرآیندهای استخراج و همچنین استخراج در یک مرحله در LM به هم متصل می‌شوند. غشای مایع حجیم از تغذیه مایع و همچنین فاز سلب در تماس با فاز LM تشکیل شده است (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱).

کاربردهای استخراج مایع - مایع

استخراج مایع - مایع کاربردهای متعددی در فناوری فرآیندهای زیستی دارد. طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی و همچنین سوخت‌های زیستی که از طریق تخمیر و جلبک‌ها به دست می‌آیند اغلب از طریق فرآیند استخراج مایع - مایع بازیابی و خالص سازی می‌شوند. ترکیبات فنلی علاوه بر الکل‌های بالاتر به عنوان بازدارنده در طی تخمیر زیست توده لیگنوسولولزی هیدرولیز شده می‌توانند با این روش حذف شوند. اسیدهای کربوکسیلیک به عنوان مثال اسید لاکتیک، اسید تارتاریک، اسید پروپانویک، اسید سیتریک و غیره که به عنوان محصول تخمیر به دست می‌آیند را می‌توان با استخراج مایع - مایع به طور به صرفه (هزینه و انرژی کم) جدا کرد. استخراج مایع - مایع کاربردهایی در صنایع غذایی مانند جداسازی و خالص سازی یک طعم یا عطر خاص را امکان می‌کند. برای جداسازی و خالص سازی پروتئین و پپتیدها، استخراج مایع - مایع روشی مفید است که به طوری طبیعی آنها حساس در حلال‌های آلی است (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱). عواملی مانند خواص شیمیایی حلال‌ها، تماس یا اختلاف فاز، زمان استخراج و غیره بر جداسازی پروتئین تأثیر می‌گذارد. برای جداسازی مواد شیمیایی و سوخت‌های زیستی از مخلوط‌های مایع رقیق استخراج مایع - مایع می‌توان به عنوان مثال: از استخراج الکل‌های زیستی (Simoni et al., ۲۰۱۰) و اسیدهای کربوکسیلیک (Bressler & Braun, ۱۹۹۹) از عصاره‌های تخمیر، استخراج بازدارنده (ترکیباتی که برای میکروارگانیسم‌های تخمیر سمی هستند) استفاده از هیدرولیزهای زیست توده (Grzenia et al., ۲۰۱۱)، برای حذف ناخالصی‌ها (صابون، گلیسرول، متانول)، در بیودیزل استفاده از روغن‌های پخت و پز (Berrios et al., ۲۰۱۱). استخراج واکنشی را می‌توان برای استخراج اسیدهای آلی از عصاره تخمیر برای اسیدهای مانند مالئیک، سوکسینیک، ایتاکونیک، اسیدهای لاکتیک و غیره استفاده کرد. یکی از چالش‌های بزرگ برای فرآیندهای جداسازی جدید، بازیابی محصولات از جریان‌های رقیق در پالایشگاه زیستی است. مواد شیمیایی پلت فرم بالقوه برتر از پالایشگاه زیستی شامل اتانول، گلیسرول و مشتقات آن، فوران‌ها، اسید سوکسینیک، اسید لوولینیک، اسید لاکتیک، هیدروکسیل-پروپیونیک/آلدئید و غیره است (Antony, Pal, & Wasewar, ۲۰۲۱; Bozell & Petersen, ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

مفهوم استخراج جامد-مایع را تنها بر اساس پدیده‌های انتشار و اسمز (فرایند استخراج غیرفعال) با استفاده از یک فلسفه جدید که مبتنی بر ایجاد گرادیان فشار بین ماده داخلی و خروجی جامد است (فرایند استخراج فعال) تغییر داد. علاوه بر این، زمینه‌های کاربرد RSLDE متعدد است و شامل صنایع دارویی، آرایشی، گیاهی و مواد غذایی و آشامیدنی می‌شود. علاوه بر این، RSLDE را می‌توان برای

استخراج ضایعات غذایی، محصول جانبی بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی، خانگی و سایر بخش‌های غذایی استفاده کرد که در حال حاضر به دلیل افزایش این فعالیت‌ها در حال افزایش است. این محصولات جانبی می‌توانند به عنوان منبع بالقوه ترکیبات زیست فعال و مغذی مورد استفاده قرار گیرند که کاربردهای مهمی در درمان اختلالات مختلف دارند. همچنین استخراج مایع-مایع یک رویکرد مطلوب برای جداسازی محصولات مختلف مبتنی مانند محصولات مبتنی بر تخمیر، سوخت‌های زیستی، صنایع غذایی و غیره است. استفاده از LLE برای جداسازی محصولات زیستی و صنایع غذایی بسیار اهمیت دارد. امروزه بسیاری از تکنیک‌های تشدید فرآیند مانند جداسازی واکنشی، جداسازی ترکیبی، استفاده از حلال‌های جایگزین، انرژی و غیره وارد عمل شده‌اند که منجر به افزایش فرآیند جداسازی توسط LLE شده است.

منابع

- Alampanos, V., Samanidou, V., & Papadoyannis, I. (۲۰۱۹). Trends in sample preparation for the hplc determination of penicillins in biofluids. *J. Appl. Bioanal*, 5(۱), ۹-۱۷.
- Anderson, S. (۲۰۱۹). Soxtec: its principles and applications. In *Oil Extraction and Analysis* (pp. ۱۱-۲۴). AOCS Publishing.
- Antony, F. M., Pal, D., & Wasewar, K. (۲۰۲۱). Separation of bio-products by liquid-liquid extraction. *Physical Sciences Reviews*, 6(۴), ۲۰۱۸۰۰۶۵.
- Aspé, E., & Fernández, K. (۲۰۱۱). The effect of different extraction techniques on extraction yield, total phenolic, and anti-radical capacity of extracts from *Pinus radiata* Bark. *Industrial crops and products*, 34(۱), ۸۳۸-۸۴۴.
- Berrios, M., Martín, M., Chica, A., & Martín, A. (۲۰۱۱). Purification of biodiesel from used cooking oils. *Applied energy*, 88(۱۱), ۳۶۲۵-۳۶۳۱.
- Bozell, J. J., & Petersen, G. R. (۲۰۱۰). Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy's "Top ۱۰" revisited. *Green chemistry*, 12(۴-۵۳۹), ۵۵۴.
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F., & Ragno, R. (۲۰۱۷). Essential oils extraction: A ۲۴-hour steam distillation systematic methodology. *Natural product research*, 31(۲۰), ۲۳۸۷-۲۳۹۶.
- Bressler, E., & Braun, S. (۱۹۹۹). Separation mechanisms of citric and itaconic acids by water-immiscible amines. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 74(۹), ۸۹۱-۸۹۶.
- Carro, N., Cobas, J., García, I., Ignacio, M., Mouteira, A., & Silva, B. (۲۰۱۸). Development of a method for the determination of SCCPs (short-chain chlorinated paraffins) in bivalve mollusk using Soxtec device followed by gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry. *Journal of Analytical Science and Technology*, 9, ۱-۹.
- Cunniff, P., & Washington, D. (۱۹۹۷). Official methods of analysis of AOAC International. *J. AOAC Int*, 80(۶), ۱۲۷A.
- Da Silva, R. P., Rocha-Santos, T. A., & Duarte, A. C. (۲۰۱۶). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 76, ۴۰-۵۱.
- Dattatreya, B., Kamath, A., & Bhat, K. (۲۰۰۲). Developments and challenges in flavor perception and measurement—a review. *Food Reviews International*, 18(۲-۳), ۲۲۳-۲۴۱.
- Esclapez, M., García-Pérez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. (۲۰۱۱). Ultrasound-assisted extraction of natural products. *Food Engineering Reviews*, 3, ۱۰۸-۱۲۰.
- Formato, A., Gallo, M., Ianniello, D., Montesano, D., & Naviglio, D. (۲۰۱۳). Supercritical fluid extraction of α - and β -acids from hops compared to cyclically pressurized solid-liquid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 8۴, ۱۱۳-۱۲۰.
- Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (۲۰۱۸). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7.۱۶۴, (۱۰).
- Gallo, M., Formato, A., Giacco, R., Riccardi, G., Luongo, D., Formato, G., Amoresano, A., & Naviglio, D. (۲۰۱۹). Mathematical optimization of the green extraction of polyphenols from grape peels through a cyclic pressurization process. *Heliyon*, 5. (۴).

- Grzenia, D. L., Qian, X., da Silva, S. S., Wang, X., & Wickramasinghe, S. R. (۲۰۱۱). Membrane extraction for biofuel production. In *Membrane science and technology* (Vol. ۱۴, pp. ۲۱۳-۲۳۳). Elsevier .
- Han, D., & Row, K. H. (۲۰۱۲). Trends in liquid-phase microextraction, and its application to environmental and biological samples. *Microchimica Acta*, 176, ۱-۲۲ .
- He, Q., Du, B., & Xu, B. (۲۰۱۸). Extraction optimization of phenolics and antioxidants from black goji berry by accelerated solvent extractor using response surface methodology. *Applied Sciences*, 8(۱۰), ۱۹۰۵ .
- Horwitz, W. (۲۰۱۰). Agricultural chemicals, contaminants, drugs. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 1 .
- Jensen, W. B. (۲۰۰۷). The origin of the Soxhlet extractor. *Journal of chemical education*, 84(۱۲), ۱۹۱۳ .
- Jesus, S. P., & Meireles, M. A. A. (۲۰۱۴). Supercritical fluid extraction: A global perspective of the fundamental concepts of this eco-friendly extraction technique. In *Alternative solvents for natural products extraction* (pp. ۳۹-۷۲). Springer .
- Jiang, H., Yang, S., Tian, H., & Sun, B. (۲۰۲۳). Research progress in the use of liquid-liquid extraction for food flavour analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 132, ۱۳۸-۱۴۹ .
- Joana Gil-Chávez, G., Villa, J. A., Fernando Ayala-Zavala, J., Basilio Heredia, J., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (۲۰۱۳). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients: An overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, ۱۲(۱), ۵-۲۳ .
- Junza, A., Dorival-García, N., Zafra-Gómez, A., Barrón, D., Ballesteros, O., Barbosa, J., & Navalón, A. (۲۰۱۴). Multiclass method for the determination of quinolones and β -lactams, in raw cow milk using dispersive liquid-liquid microextraction and ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1356, ۱۰-۲۲ .
- Khatibi, S. A., Hamidi, S., & Siahi-Shadbad, M. R. (۲۰۲۲). Application of liquid-liquid extraction for the determination of antibiotics in the foodstuff: recent trends and developments. *Critical reviews in analytical chemistry*, 52(۲), ۳۲۷-۳۴۲ .
- Khaw, K.-Y., Parat, M.-O., Shaw, P. N., & Falconer, J. R. (۲۰۱۷). Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. *Molecules*, 22(۷), ۱۱۸۶ .
- Kinsella, B., O'Mahony, J., Malone, E., Moloney, M., Cantwell, H., Furey, A., & Danaher, M. (۲۰۰۹). Current trends in sample preparation for growth promoter and veterinary drug residue analysis. *Journal of Chromatography A*, ۱۲۱۶(۴۶), ۷۹۷۷-۸۰۱۵ .
- Liguori, L., Russo, P., Albanese, D., & Di Matteo, M. (۲۰۱۸). Production of low-alcohol beverages: Current status and perspectives. In *Food processing for increased quality and consumption* (pp. ۳۴۷-۳۸۲). Elsevier .
- Lorenzetti, A. S., Domini, C. E., & Lista, A. G. (۲۰۱۷). A simple and new reverse liquid-liquid microextraction for the automated spectrometric determination of doxycycline in chicken fat. *Food chemistry*, 237, ۵۰۶-۵۱۰ .
- Molino, A., Rimauro, J., Casella, P., Cerbone, A., Larocca, V., Chianese, S., Karatza, D., Mehariya, S., Ferraro, A., & Hristoforou, E. (۲۰۱۸). Extraction of astaxanthin from microalga *Haematococcus pluvialis* in red phase by using generally recognized as safe solvents and accelerated extraction. *Journal of biotechnology*, 283, ۵۱-۶۱ .
- Naviglio, D. (۲۰۰۰). Rapid and dynamic solid-liquid extractor working at high pressures and low temperatures for obtaining in short times solutions containing substances that initially were in solid matrixes insoluble in extracting liquid. *Italian Patent*, 1 .(۶)
- Naviglio, D. (۲۰۰۳). Naviglio's principle and presentation of an innovative solid-liquid extraction technology: extractor Naviglio®. *Analytical letters*, 36(۸), ۱۶۴۷-۱۶۵۹ .
- Naviglio, D., Formato, A., & Gallo, M. (۲۰۱۴). Comparison between ۲ methods of solid-liquid extraction for the production of Cinchona calisaya elixir: An experimental kinetics and numerical modeling approach. *Journal of food science*, 79(۹), E۱۷۰۴-E .۱۷۱۲
- Naviglio, D., Pizzolongo, F., & Ferrara, L. (۲۰۰۸). Extraction of pure lycopene from industrial tomato waste in water using the extractor Naviglio. *Afr. J. Food Sci*, 2(۴), ۳۷-۴۴ .
- Naviglio, D., Pizzolongo, F., Romano, R., & Ferrara, L. (۲۰۰۷). An innovative solid-liquid extraction technology: use of the naviglio extractor® for the production of lemon liquor. *African Journal of Food Science*, 1(۴), ۰۴۲-۰۵۰ .
- Naviglio, D., Scarano, P., Ciaravolo, M., & Gallo, M. (۲۰۱۹). Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A powerful and greener alternative to the latest solid-liquid extraction techniques. *Foods*, 8(۷), ۲۴۵ .
- Posadino, A. M., Biosa, G., Zayed, H., Abou-Saleh, H., Cossu, A., Nasrallah, G. K., Giordo, R., Pagnozzi, D., Porcu, M. C., & Pretti, L. (۲۰۱۸). Protective effect of cyclically pressurized solid-liquid extraction polyphenols from Cagnulari grape pomace on oxidative endothelial cell death. *Molecules*, 23(۹), ۲۱۰۵ .
- Prado, J. M., & Rostagno, M. A. (۲۰۲۲). *Natural product extraction: principles and applications* (Vol. ۷۱). Royal Society of Chemistry .

- Premjit, Y., Pandhi, S., Kumar, A., Rai, D. C., Duary, R. K., & Mahato, D. K. (۲۰۲۲). Current trends in flavor encapsulation: A comprehensive review of emerging encapsulation techniques, flavour release, and mathematical modelling. *Food research international*, 151, ۱۱۰۸۷۹ .
- Sánchez-Camargo, A. d. P., Parada-Alonso, F., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (۲۰۱۹). Recent applications of on-line supercritical fluid extraction coupled to advanced analytical techniques for compounds extraction and identification. *Journal of separation science*, 42(۱), ۲۴۳-۲۵۷ .
- Schlosser, Š., Sabolová, E., Kertész, R., & Kubišová, L. (۲۰۰۱). Factors influencing transport through liquid membranes and membrane based solvent extraction. *Journal of separation science*, 24(۷), ۵۰۹-۵۱۸ .
- Sharif, K., Rahman, M., Azmir, J., Mohamed, A., Jahurul, M., Sahena, F., & Zaidul, I. (۲۰۱۴). Experimental design of supercritical fluid extraction—A review. *Journal of Food Engineering*, 124, ۱۰۵-۱۱۶ .
- Simoni, L. D., Chapeaux, A., Brennecke, J. F., & Stadtherr, M. A. (۲۰۱۰). Extraction of biofuels and biofeedstocks from aqueous solutions using ionic liquids. *Computers & chemical engineering*, 34(۹), ۱۴۰۶-۱۴۱۲ .
- Wang, L., & Weller, C. L. (۲۰۰۶). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(۶), ۳۰۰-۳۱۲ .
- Willson, K. C., & Clifford, M. N. (۲۰۱۲). *Tea: cultivation to consumption*. Springer Science & Business Media .

Separation, extraction, solid-liquid, liquid-liquid methods in the food industry

First Author : Maryam Farnoodi

Master Student of food Science and Technology

Mehr Aein institute , Bandar Anzali ,iran

Second Author^۲ : Ziaziabari

**Science Committee member off Engineering,
Mehr Aein institute, Bandar Anzali, iran**

۱-۱- Abstract

Food composition is one of the most critical parts of daily life for determining the taste and overall quality of foods. Measuring the perception of food taste plays an important role in the development of food products. In order to determine the flavor components of foods, rapid, sensitive and accurate sample preparation methods play a very important role. This review first discusses liquid-solid and liquid-liquid extraction methods and then provides an overview of the application of these extractions in the food industry. Then, the use of several techniques in conjunction with liquid-solid and liquid-liquid extraction methods for the analysis and separation of active ingredients is discussed. Liquid-solid extraction is performed by using organic and/or inorganic liquids and their mixtures as extracting solvents in contact with an insoluble solid matrix or by using sequential atmospheric pressure systems that require long processes such as soaking. Compared to other extraction methods, the key advantage of liquid-liquid extraction is that it is more suitable for the analysis of liquid food samples and is easy and fast to perform. In this review, after reviewing the latest solid-liquid and liquid-liquid extraction techniques, an overview of the applications of rapid liquid-liquid extraction in the food industry over the past two decades is presented.

۱-۲- Keywords: Liquid-liquid extraction, solid-liquid extraction, extraction of active ingredients, food industry

^۱-Corresponding Author