اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

استخراج لیکوپن از پسماند گوجه‌فرنگی با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین: تمرکز بر کاهش انرژی و بهبود بازده صنعتی

زهرا قلی‌نژاد*[۱]، شادی زحمتکش[۱]، سیدحمیدرضا زره اقبالی[۲]، مبینا زحمتکش[۳]

۱- ایران، نیشابور، دانشگاه نیشابور، دانشکده فناوری‌های نوین بین‌رشته‌ای، گروه مهندسی شیمی گرایش داروسازی
۲- ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی
۳- ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی آزاد تهران، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه زیست‌شناسی

ایمیل نویسنده مسئول : Zahragholinezhad258@gmail.com
کد مقاله: EFAB01583175

پسماند پوست و تفاله گوجه‌فرنگی منبعی غنی از لیکوپن است، اما اتصال محکم آن به ماتریکس سلولی، بازده روش‌های سنتی را محدود می‌کند. این پژوهش با مرور مطالعات ۲۰۲۴-۲۰۱۶ به مقایسه فناوری‌های مایکروویو، فراصوت، آنزیمی، کربن‌دی‌اکسید فوق‌بحرانی وترکیبی از این روشها بر اساس راندمان، پایداری ایزومری، مصرف انرژی، سازگاری زیست‌محیطی و مقیاس‌پذیری می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد مایکروویو و فراصوت با تخریب دیواره سلولی، تعادل مطلوبی بین بازده و انرژی برقرار می‌کنند. کربن‌دی‌اسید فوق بحرانی با وجود مصرف انرژی بیشتر، به دلیل انتخاب‌پذیری بالا در صنایع دارویی ارزشمند است، در حالی که روش آنزیمی زیست‌فراهمی را ۲۰٪-۱۵ افزایش می‌دهد ولی نیازمند بهینه‌سازی بیشتر است. جمع‌بندی نشان می‌دهد روش‌های حلال‌های یوتکتیک عمیق طبیعی -فراصوت و مایعات یونی - مایکروویو بیشترین پتانسیل را برای تجاری‌سازی استخراج سبز لیکوپن از پسماند گوجه‌فرنگی دارند.

مقدمه

ضایعات فرآوری گوجه‌فرنگی (پوست، تفاله و دانه) حاوی ترکیبی لیپوفیلیک به نام لیکوپن هستند. ساختار حساس لیکوپن به حرارت، نور و اکسیداسیون، به‌همراه مصرف حلال‌های سمی در روش‌های سنتی، چالش‌های جدی در استخراج کارآمد آن ایجاد کرده است. هدف این مطالعه بررسی انواع روش‌های نوین و ترکیبی استخراج، از نظر بازده استخراج، مصرف انرژی و مزیت‌های زیست‌محیطی است.

بدنه

لیکوپن کاروتنوئیدی خطی با ۱۱ پیوند دوگانه کونژوگه، لیپوفیلیک و محبوس در غشای کلروپلاست است. در روش کربن دی‌اکسید فوق‌بحرانی، استخراج انتخابی لیکوپن بدون حلال آلی با بازده ۰.۶۶ میلی‌گرم بر گرم و حفظ ساختار ایزومری انجام شده و بازیافت بیش از ۹۰ درصد کربن دی‌اکسید، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. در روش اولتراسونیک، نمونه‌ها با حلال هگزان:استون:اتانول (۲:۱:۱) استخراج می‌شوند و کاویتاسیون، بازده را در توان ۵۰ وات به ۹۰ تا ۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رساند و مصرف انرژی ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. استخراج با مایکروویو در ۴ تا ۷ دقیقه، بازده ۵.۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم تفاله و کاهش ۵۵ تا ۷۰ درصد انرژی دارد؛ ۷۰۰ تا ۸۰۰ وات شرایط بهینه در استخراج به کمک ماکروویو است. در استخراج آنزیمی، پکتیناز، سلولاز و زایلاناز در پی‌اچ برابر ۵.۵ و دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد طی چند ساعت، بازده را تا صدها میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم افزایش می‌دهند؛ از محدودیت آن زمان‌بری و هزینه آنزیم است. در رویکرد ترکیبی حلال هیدروفوبیک (منتول–تیمول) با اولتراسوند در ۲۰ دقیقه و دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، بازده ۴۸۴ میلی‌گرم بر گرم عصاره خشک با کاهش ۴۰ درصد انرژی و حذف حلال‌های آلی فرار گزارش شده است. ترکیب کربن دی‌اکسید فوق‌بحرانی و اولتراسونیک در فشار ۳۸۰ تا ۴۱۰ بار، دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، توان ۵۰ وات و زمان ۱۲۰ دقیقه، بازده ۹۲.۸ درصد محتوای لیکوپن با کاهش ۲۵ درصد انرژی و انرژی ویژه ۰.۹ کیلووات‌ساعت بر گرم دارد. ترکیب مایعات یونی با مایکروویو از طریق برهم‌کنش پی-پی، در غلظت ۰.۱۷ مولار، توان ۸۰۰ وات و زمان کمتر از ۳ دقیقه، بازده ۰.۱۷۷ میلی‌گرم بر گرم (۳۰ تا ۴۵ درصد بیشتر از روش‌های حرارتی) با کاهش ۴۰ تا ۶۰ درصد انرژی و بازیافت بیش از ۸۰ درصد مایع یونی داشته است. در نهایت، ترکیب آنزیمی و اولتراسونیک با آنزیم‌های متصل به نانوذرات مغناطیسی در پی‌اچ برابر ۵ و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، بازده حدود ۱۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده اولیه حاصل کرده و با کاهش زمان، گزینه‌ای کارآمد برای بازیابی لیکوپن از ضایعات گوجه‌فرنگی است.

نتیجه

در انتها میتوان گفت تفاله و پوست گوجه‌فرنگی به عنوان منبعی ارزان و غنی از لیکوپن، بازیابی این ترکیب ارزشمند را با اهداف اقتصاد چرخشی و کاهش پسماند صنعتی همسو ساخته است. فناوری‌های نوین استخراج مانند مایکروویو و اولتراسونیک با زمان کوتاه، انتقال سریع جرم و کاهش ۴۰ تا ۶۰ درصدی مصرف انرژی، ضمن حفظ ساختار آل‌ترانس لیکوپن و کاهش تخریب حرارتی نسبت به روش‌های سنتی، کارایی بالاتری دارند؛ همچنین برخی روش‌های ترکیبی با افزایش بازده و کاهش مصرف حلال‌های سمی، ارزش افزوده ضایعات را افزایش داده و هزینه مدیریت پسماند را حداقل ۳۰ درصد کاهش می‌دهند. با این حال، چالش‌هایی نظیر هزینه بالای تجهیزات پیشرفته، کنترل ایزومریزاسیون لیکوپن و نیاز به تحلیل چرخه عمر انرژی همچنان پیش روست. چشم‌انداز آینده این حوزه، توسعه فناوری‌های سبز و مقیاس‌پذیر برای دستیابی به استخراج پایدار لیکوپن از ضایعات گوجه‌فرنگی است.

منابع

1-Madia, V.N., et al., *Recent advances in recovery of lycopene from tomato waste: A potent antioxidant with endless benefits.* Molecules, 2021. **26**(15): p. 4495.
2-Zuorro, A., M. Fidaleo, and R. Lavecchia, *Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste.* Enzyme and microbial technology, 2011. **49**(6-7): p. 567-573.
3- Kumar, S., et al., *Lycopene extraction from industrial tomato processing waste using emerging technologies, and its application in enriched beverage development.* International Journal of Food Science & Technology, 2023. **58**(4): p. 2141-2150.
4- Garofalo, S.F., V. Mallen, and D. Fino, *Extraction of carotenoids from tomato pomace using deep eutectic solvents composed of short and medium-chain fatty acids and menthol.* Food Chemistry, 2025. **484**: p. 144342.
5- Lozano Pérez, A.S., J.J. Lozada Castro, and C.A. Guerrero Fajardo, *Application of microwave energy to biomass: a comprehensive review of microwave-assisted technologies, optimization parameters, and the strengths and weaknesses.* Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2024. **8**(3): p. 121.
6- Silva, Y.P., et al., *Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents.* Journal of food science and technology :(3)56 .2019 ,p. 1649-1654.
7- Molnar, M., et al., *Potential of deep eutectic solvents in the extraction of organic compounds from food industry by-products and agro-industrial waste.* Separations, 2024. **11**(1): p. 35.