

УДК 621.3:66.061.3-035.2

DOI: 10.15673/swonaft.v88i2.3034

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Молчанов М.Ю., аспірант

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

Copyright © 2024 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Анотація. Наразі у світі активно розвиваються напрямки виробництва, в яких використовують не лише свіжу рослинну сировину, а й рослинні концентрати, які хоч і мають складність при виробництві, але є більш зручними у використанні. Через свої великі концентрації вони мають тривалі терміни зберігання, займають менше місця і легко регенеруються певними розчинниками. Але виробництво таких концентратів може бути досить складним, енергоємним та іноді не екологічним через застаріле обладнання і тому перед виробниками таких концентратів ставиться завдання шукати методи модернізації старого обладнання чи, що навіть більш актуально, шукати нові принципи обробки сировини для отримання концентратів з більшим вмістом сухих речовин, більшої екологічності і менших енергетичних витрат. Запропоновано залучити інноваційні технології для екстрагування рослинної сировини складної структури для дослідження ефективності процесу механоцифузії і визначення кінетики зміни концентрації у часі, а також можливості обробки сировини без її подрібнення, як у традиційних процесах.

Проведено аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню процесу екстрагування кавової сировини в умовах мікрохвильового поля такими розчинниками як вода, етанол, CO₂. Визначено перспективність досліджень даного методу обробки рослинної сировини.

В ході проведення експериментальних досліджень було визначено як мікрохвильове поле впливає на рослинну сировину і після проведення досліджень отримано дані кінетики зміни температури, енергетичних витрат і коефіцієнту світлопропускання для процесу екстрагування деревини дуба водою, а також дані щодо відмінностей екстрагування кавової сировини у вигляді дрібно меленої кави та кавових зерен. Отримано дані, що обробка рослинної сировини може проводитись як при високих температурах так і при низьких.

Ключові слова: екстрагування, мікрохвильове поле, рослинна сировина, експериментальне моделювання.

Вступ

Концентрати з рослинної сировини характеризуються швидкістю приготування, тривалими термінами зберігання, зручністю транспортування і можливістю використання їх у різних сферах промисловості. Саме ці якості рослинних концентратів (РК) і привертають увагу споживачів як до РК для хімічних і фармацевтичних виробництв, так і РК для харчової промисловості у вигляді харчових концентратів (ХК). Наразі більшість жителів планети усе частіше звертаються до продуктів з галузі ХК [1]. Асортимент РК швидко розширюється як і їх ринок. Наразі РК використовують не лише на підприємствах, а ще й у кафе, ресторанах, побути як перші і другі страви, десерти і напої [2]. В галузі ХК найбільш затребуваним продуктом у світі став порошок розчинної кави, і набуває популярності використання рідких концентратів кави [3]. Чисельність працівників кавової промисловості на планеті досягло 25 млн. людей.

Наразі у світі стрімко ростуть продажі розчинної кави, що до РК то у найближчі кілька років на світовому ринку рослинних екстрактів відбудеться значне зростання [4], це говорить про те що ринок РК також зростає, бо рослинні екстракти, як правило, мають невеликі концентрації через специфіку сировини і відповідно мають невеликі терміни зберігання чи складності з транспортуванням. За оцінками, очікується, що в період з 2022 по 2030 рік, ринок рослинних екстрактів буде розширюватись із середньорічними темпами зростання близько 7%. Це зростання можна пояснити зростаючою обізнаністю споживачів про користь натуральних продуктів, зростанням захворюваності на хронічні хвороби, та зрушення у бік профілактичних заходів охорони здоров'я. Крім того, попит на рослинні екстракти в

секторах продуктів харчування та напоїв, косметики та нутрицевтиків ще більше стимулює зростання ринку.

Ключові операції виробництва РК – екстрагування та сушіння, ці процеси характеризуються енергоємністю та екологічними проблемами [5, 6]. Так як впливати на вартість сировини виробники РК не в змозі то є два конкурентних напрямки. Перший – це використання інноваційних технологій, які направлені на покращення процесів екстрагування та сушіння. Друге – це інноваційні технології глибокої переробки сировини для вилучення з неї якнайбільше потрібних компонентів, за можливості переробка її більш екологічними методами.

На кафедрі процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, Одеського національного технологічного університету розроблено інноваційне обладнання та технології, що при використанні мікрохвильового (МХ) поля дозволяють реалізовувати адресну доставку енергії до елементів сировини – клітин, пор, часток, цільових компонентів. За рахунок інноваційних технологій можна підвищити енергетичну ефективність процесів, збільшити асортимент та якість продукції.

Аналіз літературних джерел та формулювання проблеми

У роботі [7] наведено результати досліджень мікрохвильового (МХ) екстрагування олії із зелених кавових зерен. Показано, що застосування МХ екстрагування дозволило провести процес протягом 10 хвилин при 45°C порівняно з чотиригодинним екстрагуванням в апараті Сокслета. Отримані екстракти виявляють високу антиоксидантну активність. Але залишилися невирішеними питання, пов'язані з екстракцією олії із кавового шламу. Можливо, це пов'язано з тим, що вміст олії в меленій каві більше ніж у відходах. Але як свідчать дослідження, у шламі міститься 7–12% кавової олії. Залишкові речовини в кавовому шламі мають повноцінний хімічний склад і не поступаються якістю, що міститься в каві. Шлам є цінним додатковим джерелом для одержання кавової олії. Отримання олії кави зі шламу, а не з меленої кави значно знизить собівартість продукту.

У роботі [8] наведено результати досліджень МХ екстрагування відпрацьованої фільтрованої кави, яка є відходами в ресторанах, кафе, домашніх умовах. Як екстрагент використовували етанол 20% концентрації. В результаті отримано екстракт поліфенолів із високою антиоксидантною активністю.

Розглядаються варіанти рідинного екстрагування під тиском для олії із зеленого кавового зерна [9], при низькій температурі (50°C); МХ екстрагування олії з відпрацьованого кавового шламу з використанням розчинника CO₂ та етанолу [10]. Показано, що застосування цих методів забезпечує високий вихід екстрактивних речовин. Скорочується тривалість процесу, використовується менша кількість органічного розчинника. У роботі [11] наведено результати досліджень МХ екстрагування полісахаридів з відпрацьованого кавового шламу. Експерименти проводилися в умовах підвищеної температури (140–200°C) та тиску (4 МПа). Але застосування високих тисків, особливо надкритичного екстрагування CO₂, призводить до додаткових енерговитрат. Для зазначених технологій притаманна складна апаратурна реалізація процесу.

Доцільним є: проведення досліджень процесів екстрагування в МХ полі для визначення впливу проведеної до сировини енергії на кінетику екстрагування і кінцеві характеристики екстрактів.

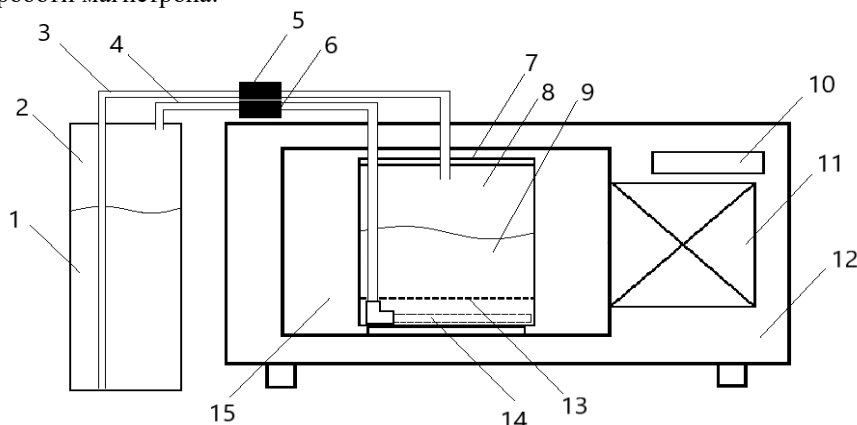
Необхідно провести: дослідження кінетики екстрагування водорозчинних речовин з деревини дуба та зерен кави, меленої та цілої; розробити конструкцію універсального енергоефективного МХ екстрактора, який забезпечить режими роботи при температурах до 100°C та атмосферному тиску. Дослідити вплив температури, гідромодуля, тривалості процесу.

Вирішувати зазначені проблеми пропонується використанням інноваційних принципів та обладнання, розроблених авторами.

Модель інноваційного модуля

Для проведення експериментальних досліджень використовувався циркуляційний мікрохвильовий екстрактор (рис. 1). Що дозволяє обробляти сировину в режимі поступових циклів роботи магнетрона, роботи насосів та циркуляції екстрагента в умовах роботи мікрохвильового поля. Циркуляційний МХ екстрактор працює наступним чином, у ємності (8) під перфорованою полицею (13) розміщується зливна трубка з фільтром (14) і завантажуються сировина для обробки (9), після завантаження ємність (8) ставиться до резонаторної камери (15) і закривається кришкою (7) до якої приєднані зливний (4) та заливний (3) патрубки. Після встановлення ємності з сировиною поряд з екстрактором встановлюють ємність для екстрагента (2), до ємності заливають екстрагент (1) і занурюють до днища трубку для заливу екстрагента (3), і трубку для зливу екстрагента (4). Після встановлення і заповнення ємностей для сировини і екстрагента резонаторну камеру (15) закривають і на панелі для керування (10) встановлюють час робочих циклів екстрактора. Робочі цикли екстрактора складаються з часу циклу роботи магнетрона (11), часу роботи зливного насоса (6) який зливає екстрагент з ємності для сировини в ємність для екстрагента, часу настоювання, тобто скільки часу екстрагент залитий в ємність для сировини буде там настоюватись змиваючи з поверхні обробленої МХ полем сировини і часу роботи заливного насоса (5) який заливає

екстрагент з ємності для екстрагента у ємність для сировини. Корпус резонаторної камери (12) у якому знаходиться вся електрична складова за ізолюваний для виключення накопичення електричного струму на корпусі від роботи магнетрона.



1 – розчинник що використовується як екстрагент, 2 – ємність для певного розчинника, 3 – патрубок для підводу розчинника до сировини, 4 – патрубок для відводу розчинника з сировини, 5 – насос для підводу, 6 – насос для відводу, 7 – кришка з патрубками, 8 – спеціальна ємність для розміщення твердої фази, 9 – певна сировина для обробки, 10 – панель керування магнетроном, 11 – магнетрон, 12 – корпус резонаторної камери, 13 – полиця з отворами для зливу розчинника, 14 – тонкий фільтр, 15 – резонаторна камера екстрактора.

Рис. 1 – Циркуляційний мікрохвильовий екстрактор

Головною перевагою даного екстрактора є режим роботи при якому сировина на яку діє МХ поле не екранована екстрагентом але насичена їм, це приводить до того що під дією МХ поля з насиченою вологою сировини потужним потоком витискуються цільові розчинні, слабозчинні та нерозчинні компоненти. Після заливу до ємності з сировиною заливається екстрагент що починає змивати з поверхні сировини цільові компоненти і за рахунок рушійної сили процесу масообміну, а саме, різниці концентрацій, насичуючись ними. Після настоювання відвідний насос через трубку з фільтром–насадкою відкачує насичений екстрагент і на вологу сировину діє МХ поле. Під дією МХ поля у зволоженій сировині ініціюється процес механо дифузії, який утворює всередині капілярів сировини підвищений тиск за рахунок перетворення вологи на пару, дійшовши до критичних тисків потік пари руйнує стінку капіляра і вивільнюється виштовхуючи разом із собою нерозчинні, слабозчинні та розчинні компоненти.

При роботі на даному екстракторі є обмеження пов'язане з дисперсністю матеріалу. Розмір частинок сировини не повинен бути менший за 1–2 мм, адже починає забиватись фільтр–насадка і відповідно перестає зливатися насичений екстрагент.

Так як іноді потрібно підтримувати певну температуру екстрагенту, ємність для екстрагента необхідно розміщувати у ємності з водою з постійним охолодженням, водяній бані для постійного підігріву чи ізолювати тепло теплоізолюючими матеріалами для виключення впливу температури навколишнього середовища.

Як перевагу даного екстрактора можна привести значну інтенсифікацію процесу, можливість за необхідністю обробляти сировину при малих температурах, виділення додаткових ароматичних ферментів з сировини, порівняно не великий час обробки рослинної сировини, адресна доставка енергії саме до полярних молекул сировини, відносно малі енерговитрати порівняно з традиційними екстракторами, гнучка система налаштувань роботи циклів магнетрона та насосів, попереднє фільтрування екстракту крізь тонкий фільтр під час роботи що забезпечує його відділення від крупних часточок сировини.

Як недоліки можна привести складність конструкції, та складність контролю температури сировини у ємності, яка охолоджується лише за рахунок теплообміну між сировиною та екстрагентом.

Основні результати досліджень

Для проведення досліджень що до впливу приведеної енергії на процес екстрагування використовували деревину дубу у вигляді кубиків та дистильовану воду як екстрагент, як сировину для дослідження процесу екстрагування кави використовували дрібно мелену каву і цілі зерна.

Першим чином було визначено вплив потужності магнетрона на кінцеві концентрації дубових екстрактів (рис. 2), так як дубова клепка велико дисперсна пориста сировина, яка має складну структуру, добре насичується водою, не боїться великих температур і дає змогу спостерігати саме як ефект механо дифузії діє на сировину.

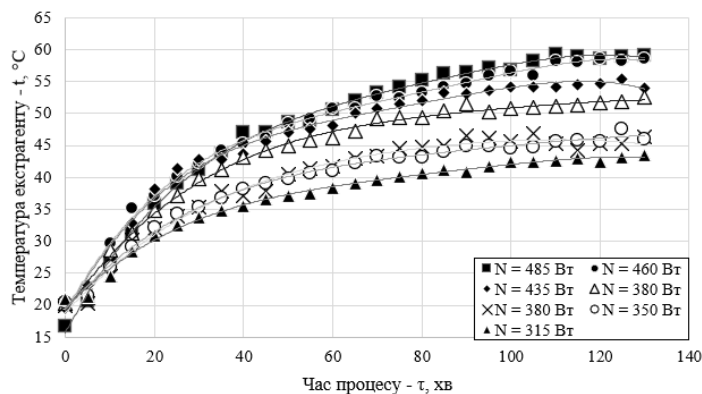


Рис. 2 – Термограма процесу екстрагування деревини дуба

Першим чином можна було спостерігати за зміною температури екстрагенту під час роботи, збільшуючи потужність магнетрона температура зростала і після цього виходила на сталу коли вже ємність з екстрагентом охолоджувалась за рахунок теплообміну з навколишнім середовищем. В даному випадку максимальна температура складала 60°C , а мінімальна 43°C , це говорить про можливість оброблювати чутку до температури сировину на низьких потужностях, не підвищуючи її температуру до 50°C , коли починають руйнуватись термолабільні компоненти.

В процесі екстрагування зафіксовані енергетичні витрати, які змінювались рівномірно зі збільшенням потужності магнетрона (рис. 3).

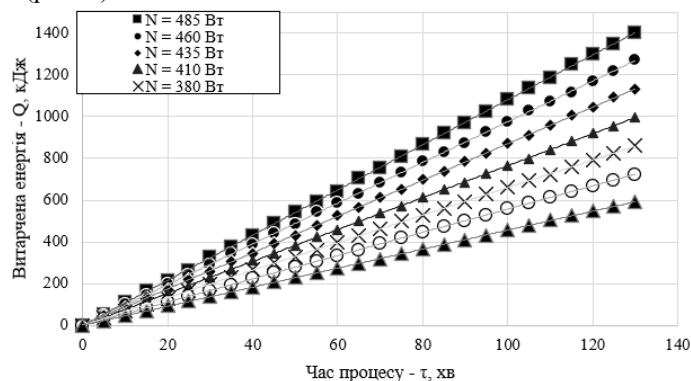


Рис. 3 – Енергетичні витрати в залежності від виставленої потужності.

Після проведення досліджень можна було побачити що екстракти мали досить багато малодисперсного деревинного пилу який проходив крізь тонкий фільтр-насадку і заважав визначенню концентрації по сухим речовинам тому концентрація визначалась за коефіцієнтом світлопропускання після відстоювання. На рис. 4 можна побачити чітку тенденцію підвищення концентрації екстракту за зміною потужності магнетрона.

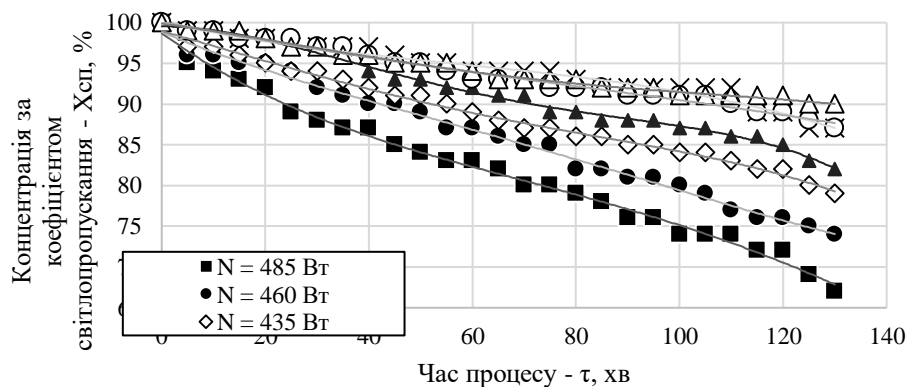


Рис. 4 – Зміна концентрації екстрактів у час і за коефіцієнтом світлопропускання.

Тенденція зменшення коефіцієнта світлопропускання в залежності від кількості підведеної до сировини енергії зберігається (рис. 5), також після проведення досліджень можна було побачити що дубова клепка мала зруйновані в торцях капіляри і багато щілин по сторонах яких раніше не було, це свідчить про механічну дію з середини сировини.

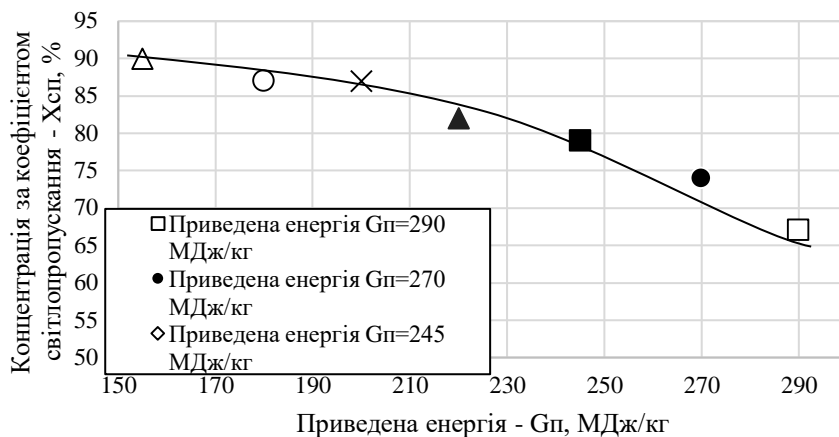


Рис. 5 – Кінетика зміни кінцевих концентрацій в залежності від приведеної енергії.

Для визначення можливостей процесу механодифузії проведено дослідження з екстрагування кавових зерен водою в двох різних станах сировини, в першому випадку кавові зерна було подрібнено і проекстраговано, як результат отримано кавовий екстракт з кінцевою концентрацією 5,8%, але даний процес мав певне ускладнення з тим що дрібні часточки проходили крізь фільтр-насадку, а часточки більшого розміру забивали його. Тому наступним було запропоновано проведення дослідження процесу екстрагування з цілих зерен кави без подрібнення, як результат в даному випадку отримано кавовий екстракт з кінцевою концентрацією 3,6%, але він відрізнявся від попереднього стабільністю роботи, за рахунок того що фільтр – насадка не забивався, температура була більш стабільною, у кінцевому екстракті знаходився дрібнодисперсний кавовий пил. Зовнішній вигляд сировини набув таких ознак як і деревина, на поверхні кавових зерен з’явилась шорсткість і слабо помітні щілинки.

Таблиця 1. Порівняння досліджень при різних характеристиках сировини.

Тип сировини	Час процесу, хв	Температура максимальна, °С	Енергетичні витрати, кВт*год	Кінцева концентрація, %	Переваги процесу	Недоліки процесу
Мелена кави	120	98,3	0,685	5,8	Підвищена інтенсивність процесу екстрагування за рахунок дроблення сировини	Потреба в фільтруванні екстракту після екстрагування, забивання фільтрів та насосів дрібнодисперсним пилом
Цілі зерна кави	120	99,8	0,649	3,6	Відсутність дроблення, як додаткового процесу обробки сировини, зручність роботи	Менша інтенсивність процесу

Висновки

Результати проведених досліджень показують що процеси екстрагування можуть проводитись як при високих так і при низьких температурах що говорить про їх універсальність при роботі з чутливою до температури сировиною. Процес екстрагування в умовах МХ поля дозволяє прискорити процес вилучення цільових компонентів з сировини і може бути використаний для екстрагування сировини без певних етапів додаткової обробки.

Література

1. Ruckmangathan S., Ganapathyswamy H., Sundararajan A., Thiagamoorthy U., Green R., Subramani T. Physico-Chemical, Structural, and Functional Properties of Protein Concentrate From Selected Pulses: A Comparative Study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 202246. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17169>
2. Todaro A., Arena E., Timpone R., Parafati L., Proetto I., Pesce F., Pisana F., Fallico B., Palmeri R. Use of concentrated fruit juice extracts to improve the antioxidant properties in a soft drink formulation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2023, 31(6), 100649. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100649>
3. Zia S., Khan M.R., Shabbir M.A., Aslam Maan A., Khan M.K.I., Nadeem M., Khalil A.A., Din A., Aadil R.M. An Inclusive Overview of Advanced Thermal and Nonthermal Extraction Techniques for Bioactive Compounds in Food and Food-related Matrices. *Food Reviews International*, 2020, 38(6), 1166–1196. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1772283>
4. Ozyurt V.H., Çakaloglu B., Otlis S. Optimization of cold press and enzymatic-assisted aqueous oil extraction from tomato seed by response surface methodology: Effect on quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(5), e15471. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15471>
5. Tsukui A., Santos Júnior H.M., Oigman S.S., de Souza R.O.M.A., Bizzo H.R., Rezende C.M. Microwave-assisted extraction of green coffee oil and quantification of diterpenes by HPLC. *Food Chemistry*, 2014, 164, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.039>
6. Kim J.H., Ahn D.U., Eun J.B., Moon S.H. Antioxidant Effect of Extracts from the Coffee Residue in Raw and Cooked Meat. *ANTIOXIDANTS*, 2016, 5(3), 21. <https://doi.org/10.3390/antiox5030021>
7. Belandria V., Aparecida de Oliveira P.M., Chartier A., Rabi J.A., de Oliveira A.L., Bostyn S. Pressurized-Fluid Extraction of Cafestol and Kahweol Diterpenes from Green Coffee. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 37, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.022>
8. Ahangari B., Sargolzaei J. Extraction of Lipids from Spent Coffee Grounds Using Organic Solvents and Supercritical Carbon Dioxide. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2012, 37(5), 1014–1021. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00757.x>
9. Samsalee N., Sothornvit R. Different Novel Extraction Techniques on Chemical and Functional Properties of Sugar Extracts from Spent Coffee Grounds. *Aims Agriculture and Food*, 2022, 7(4), 897–915. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022055>

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF PLANT RAW MATERIALS' EXTRACTION

Molchanov M.Yu., graduate student
Odesa national university of technology, Odesa, Ukraine

Abstract. *Currently, the world is actively developing production areas that use not only fresh plant raw materials, but also plant concentrates, which, although they are difficult to produce, are more convenient to use. Due to their high concentrations, they have long shelf life, take up less space and are easily regenerated by certain solvents. However, the production of such concentrates can be quite complex, energy-intensive and sometimes not environmentally friendly due to outdated equipment, and therefore the manufacturers of such concentrates are faced with the task of finding methods for upgrading old equipment or, even more importantly, finding new principles for processing raw materials to obtain concentrates with a higher dry matter content, greater environmental friendliness and lower energy costs. It is proposed to involve innovative technologies for extracting plant raw materials of complex structure to study the efficiency of the mechanodiffusion process and determine the kinetics of concentration changes over time, as well as the possibility of processing raw materials without grinding them, as in traditional processes.*

An analysis of literary sources devoted to the study of the process of extraction of coffee raw materials in the microwave field with solvents such as water, ethanol, CO₂ was conducted. The prospects for research into this method of processing plant raw materials were determined.

During experimental studies, it was determined how the microwave field affects plant raw materials and after conducting the studies, data on the kinetics of temperature changes, energy consumption and light transmission coefficient for the process of extracting oak wood with water were obtained, as well as data on the differences in the extraction of coffee raw materials in the form of finely ground coffee and coffee beans. Data were obtained that the processing of plant raw materials can be carried out both at high and low temperatures.

Key words: extraction, microwave field, plant raw material, experimental modeling.

References

1. Ruckmangathan S., Ganapathyswamy H., Sundararajan A., Thiagamoorthy U., Green R., Subramani T. Physico-Chemical, Structural, and Functional Properties of Protein Concentrate From Selected Pulses: A Comparative Study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 202246. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17169>
2. Todaro A., Arena E., Timpone R., Parafati L., Proetto I., Pesce F., Pisana F., Fallico B., Palmeri R. Use of concentrated fruit juice extracts to improve the antioxidant properties in a soft drink formulation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2023, 31(6), 100649. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100649>
3. Zia S., Khan M.R., Shabbir M.A., Aslam Maan A., Khan M.K.I., Nadeem M., Khalil A.A., Din A., Aadil R.M. An Inclusive Overview of Advanced Thermal and Nonthermal Extraction Techniques for Bioactive Compounds in Food and Food-related Matrices. *Food Reviews International*, 2020, 38(6), 1166–1196. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1772283>
4. Ozyurt V.H., Çakaloglu B., Otlés S. Optimization of cold press and enzymatic-assisted aqueous oil extraction from tomato seed by response surface methodology: Effect on quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(5), e15471. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15471>
5. Tsukui A., Santos Júnior H.M., Oigman S.S., de Souza R.O.M.A., Bizzo H.R., Rezende C.M. Microwave-assisted extraction of green coffee oil and quantification of diterpenes by HPLC. *Food Chemistry*, 2014, 164, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.039>
6. Kim J.H., Ahn D.U., Eun J.B., Moon S.H. Antioxidant Effect of Extracts from the Coffee Residue in Raw and Cooked Meat. *ANTIOXIDANTS*, 2016, 5(3), 21. <https://doi.org/10.3390/antiox5030021>
7. Belandria V., Aparecida de Oliveira P.M., Chartier A., Rabi J.A., de Oliveira A.L., Bostyn S. Pressurized-Fluid Extraction of Cafestol and Kahweol Diterpenes from Green Coffee. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 37, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.022>
8. Ahangari B., Sargolzaei J. Extraction of Lipids from Spent Coffee Grounds Using Organic Solvents and Supercritical Carbon Dioxide. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2012, 37(5), 1014–1021. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00757.x>
9. Samsalee N., Sothornvit R. Different Novel Extraction Techniques on Chemical and Functional Properties of Sugar Extracts from Spent Coffee Grounds. *Aims Agriculture and Food*, 2022, 7(4), 897–915. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022055>

Отримано в редакцію 24.04.2024

Прийнято до друку 06.05.2024

Received 24.04.2024

Approved 06.05.2024