

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЕФІРНИХ ОЛІЙ

²Коваленко О.А., д.с.х.н, доцент, ¹Славинський Р.Л., аспірант, ²Федосов Я. С., аспірант,
¹Славинська В.О., інженер

¹ Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

² Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв

Анотація. Проведено аналіз традиційних та інноваційних методів отримання ефірних олій. Виявлені суттєві недоліки традиційних (застарілих) методів та запропоновані інноваційні (високоєфективні) підходи, які є «зеленими» за своєю суттю. Розглянуто інноваційні методи отримання ефірних олій, також обґрунтовано ефективність їх використання у багатьох галузях народного господарства.

Запропоновано долучити електродинамічні технології до процесу отримання ефірних олій. Сформульовано гіпотезу обробки мікрохвилями рослинної сировини, що сприяє виникненню механодифузії.

Наведено переваги інноваційного метода отримання ефірних олій методом мікрохвильової екстракції без розчинників.

Проведено експерименти методом мікрохвильового екстрагування без розчинників на об'ємному вакуумному мікрохвильовому екстракторі із різними сортами гісопу та побудовані графіки залежностей відносно. Наведено результати експериментальних досліджень кінетики екстрагування рослинної сировини.

Виконано порівняльну характеристику виходу ефірної олії залежно від морфологічно-анатомічних властивостей сировини, часу проведення експерименту та витрат енергії, наведено графіки відповідних залежностей.

У результаті експерименту визначено параметри за яких відбувається екстрагування ефірної олії з гісопу. Також визначено сорт гісопу, який забезпечує за інших рівних умов більший вихід продукту.

Визначено завдання вчених-дослідників у двадцять першому столітті, які зможуть сприяти розвитку інноваційних методів отримання ефірних олій.

Ключові слова: ефірні олії, мікрохвильові електродинамічні екстрактори, суха дистиляція, енергетична ефективність, квітки гісопу.

Вступ. Ефірні олії - це пахучі та леткі рідини, одержувані з рослин, багаті біологічно активними речовинами. Біоактивність становить величезний інтерес для науки та призводить до використання у багатьох галузях промисловості. Ефірні олії, часто називають "рідким золотом", які являють собою групу хімічних сполук, та є джерелом специфічних ароматів. Ці речовини використовуються у виробництві різних видів продукції.

Ефірні олії утворюються у вигляді висококонцентрованих екстрактів, отриманих із різних частин рослин. У результаті їхньої переробки утворюються інтенсивно леткі ароматичні речовини. Ароматичні молекули рослин, крім їхніх ароматичних якостей, беруть участь у багатьох біохімічних процесах навколишнього середовища. Зростає попит на ефірні олії, оскільки ці олії, як стверджується, покращують здоров'я та імунітет. Глобальний ринок здебільшого рухомий стійкою тенденцією зеленого споживання серед зростаючою популярністю натуральних ресурсів важливих для життєдіяльності людини та збереження продуктів харчування.

Природа, склад та кількість ефірних олій залежать від [1]:

- навколишнього середовища;
- чинників, пов'язаних зі збором урожаю;
- зберігання після збору врожаю;
- морфологічно-анатомічних властивостей сировини;
- методів отримання.

Обсяг світового ринку ефірних олій оцінювався в 11,41 млрд доларів США у 2023 році та, за прогнозами, зросте з 12,47 млрд доларів США у 2024 році до 27,82 млрд доларів США до 2032 року, демонструючи середньорічний темп зростання в 10,55% протягом прогнозованого періоду. Європа домінувала на ринку ефірних олій із часткою ринку 43,65% у 2023 році, за нею йде Північна Америка та Азія, тоді як основними виробниками є Китай та Індія, за якими йдуть Індонезія, Шрі-Ланка та В'єтнам [2].

Основоположні драйвери та тренди ринку ефірних олій:

1) Зростання попиту на натуральні інгредієнти та збільшення сфери застосування у вигляді консервантів та антимікробних засобів.

2) Зростаючий інтерес до ароматерапії та застосування ефірних олій у різних галузях промисловості.

Різноманітні методи отримання ефірних олій використовувалися на протязі багатьох років. Так дистиляція використовувалась ще у Стародавньому Єгипті, Персії та Індії. Екстракти отримували традиційними

широковідомими способами з рослинної матриці. Поступово методи еволюціонували, що призвело до підвищення ефективності процесу, виходу продукту та його якості.

В роботі поставлено завдання організувати процес екстрагування без розчинників за принципами сухої дистиляції [3, 4]. Вперше пропонується залучити до процесу електромагнітні джерела енергії, які ефективно впроваджуються в сучасне тепломасообмінне обладнання [5 - 8] і мають значні перспективи у широкому використанні.

Аналіз проблематики та останніх досліджень. Аналіз свідчить, що традиційні методи застаріли та мають багато недоліків [3]:

- низькі якість, ефективність та енергоефективність;
- значні експлуатаційні витрати;
- вони неекологічні.

В традиційних методах [9, 10] передача теплової енергії здійснюється за допомогою механізмів теплопровідності та конвекції, що спричиняє коливання температурного градієнта всередині продукту, що може призвести до зменшення виходу та якості продукту.

В роботі [11] розглянуто вилучення біоактивних сполук із природних джерел їжі за допомогою нетрадиційних нових методів, яке набирає популярності через їхні численні переваги порівняно з традиційними методами. Біоактивні сполуки, отримані такими новими методами, мають великий потенціал на ринку функціональних харчових продуктів, оскільки вони вважаються більш безпечними.

Концепція екологічних методів видобутку дає поштовх для створення стійких методів видобутку та має намір слідувати стратегії Організації Об'єднаних Націй до 2030 року. Ця концепція називається принципом e^3 та включає шість принципів, розглянутих у роботі [11]:

- а) чітко визначене джерело;
- б) обмеження використання органічного розчинника;
- в) мінімізація споживання енергії;
- г) створення побічної продукції з високим потенціалом доданої вартості;
- д) зменшення тривалості вилучення;
- е) відновлення природних інгредієнтів.

Постійно розробляються сучасні технології, які дозволяють вдосконалити традиційні методи, та підвищити їх енергоефективність. В традиційних технологіях потрібні зміни, які б призвели до зростання кількісного та якісного виходу ефірних олій із лікарських рослин. Таким чином їм на зміну прийшли інноваційні (високоєфективні) методи, які є "зеленими" відповідно до своєю суті, конкурентоспроможні та економічно вигідніші [3].

Переваги та недоліки інноваційних методів отримання ефірних олій було розглянуто у роботі [3] та проілюстровано в таблиці 1.

Таблиця 1

Інноваційні та традиційні методи екстракції ефірних олій

Традиційні методи	Інноваційні методи
Гідродистиляція	Дистиляція з використанням «Виробництва 4.0» [4]
Дистиляція паром	Докритична рідинна екстракція
Екстракція	Мікрохвильова дистиляція парою
Прессування	Мікрохвильове екстрагування без розчинника
Анфлераж	Мікрохвильова гідродифузія та гравітація
Мацерація	Ультразвукова гідродистиляція
	Дистиляція з використанням сонячної енергії
	Надкритична екстракція рідини

Промисловий сегмент отримання ефірних олій завдяки впровадженню основ «Виробництва 4.0» надає нові можливості для технологічного оновлення галузі [4].

Процес виробництва ефірних олій удосконалений за рахунок використання інноваційних технологій забезпечує значні переваги починаючи з виходу продукту та енергії, і закінчуючи позитивним впливом на екологічні та фінансові результати.

Ефективність залучення електродинамічних технологій до процесу отримання ефірних олій обґрунтована в роботі [5]. Технічні характеристики електродинамічних апаратів приведено на сайті [8]. Інноваційним

підходом до проведення процесу екстрагування є ініціювання гібридного процесу для організації ефекту механодифузії [6]. Виконано аналіз кінетики взаємодії рослинного матеріалу із мікрохвильовим полем [3].

Формулюється гіпотеза: «обробка мікрохвилями сировини спроможне ініціювати та створити передачу маси та теплоти в середині рослинних матриць назовні, за допомогою впливу механодифузії, що призведе до значного скорочення часу екстрагування».

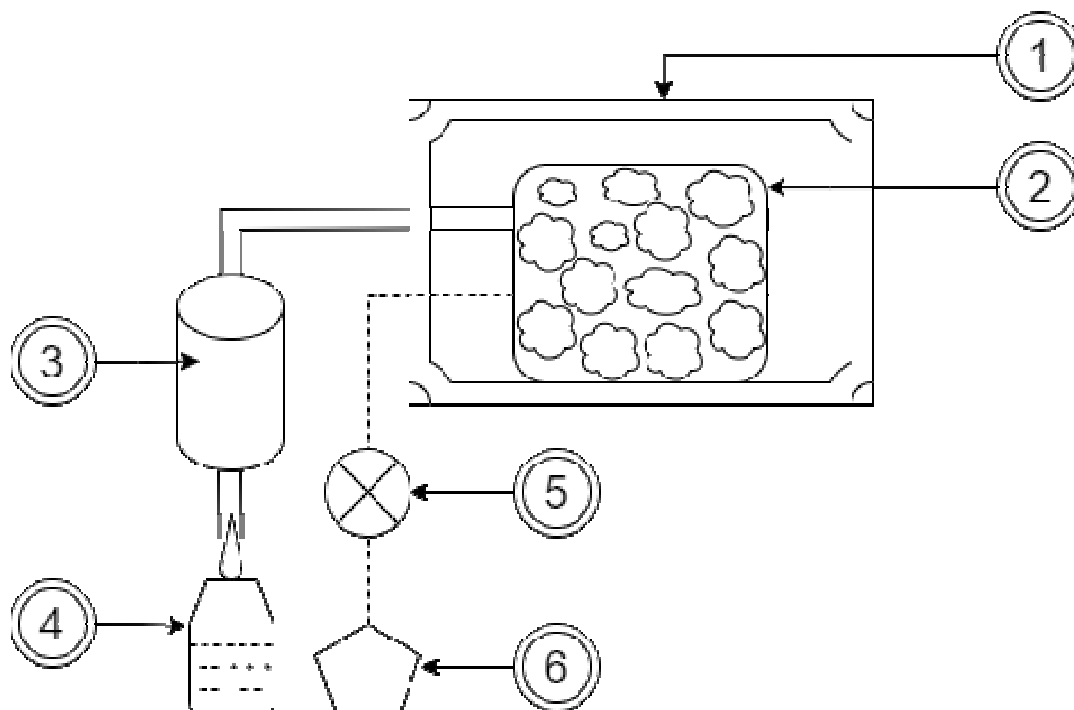
Таким чином, мікрохвильове екстрагування - це комбінація мікрохвильового нагрівання та сухої дистиляції, що виконується без додавання розчинника чи води. При цьому виділення і концентрування летких сполук здійснюються в одну стадію.

Мікрохвильова екстракція без розчинників — це адресна доставка енергії до нанорозмірних структур, що виконується при нормальних умовах без додавання розчинника чи води. Цей метод є екологічно чистою технологією і виглядає як альтернатива для вилучення ефірних олій з ароматичних рослин завдяки дії електромагнітного поля на рідину у капілярі рослинної сировини. Основна перевага — це виділення і концентрування летких сполук в одну стадію, який містить ефективність, селективність та більш короткий час [1]. Новизна цього дослідження полягає в можливості поліпшення якості на прикладі ефірних олій розмарину шляхом регулювання кількості цільових сполук, що характеризуються сильним антиоксидантним ефектом [9].

Цей метод використовує приблизно 70% води, що міститься в найсвіжішій рослинній тканині, для отримання ефірних олій, і метод поєднує в собі переваги гідродистиляції, спричиненої мікрохвильовим випромінюванням це - швидкість, високий вихід і низьке споживання енергії, при цьому практично не виробляючи стічних вод [10].

Процес мікрохвильового екстрагування без розчинників досліджено на стенді (рис.1). Експерименти проводились з синім, рожевим та білим гісопом.

Обговорення результатів експериментальних досліджень. Основними елементами стенду є: резонаторна камера з магнетроном, холодильник-дистилятор, вакуумна система (рис.1).



1 - резонаторна камера; 2 - радіо прозора ємність з сировиною; 3 - холодильник - дистилятор;
4 - ємність для збору рідини; 5 - вакууметр; 6 - вакуум-насос.

Рис. 1 – Схема експериментального стенду

У резонаторній камері 1 розташована радіопрзора ємність з сировиною 2, яка приєднана до холодильника-дистилятора 3, де парова фаза конденсується та рідина потрапляє у ємність для її збору. Вакуум у системі забезпечується вакуум-насосом 6 та контролюється манометром 5.

Проведено серію експериментальних досліджень кінетики екстрагування квітів гісопу на об'ємному вакуумному мікрохвильовому екстракторі (рис.1) та побудовані графіки залежностей тиску в системі від часу проведення експерименту відповідно для трьох сортів гісопу (таблиця 2).

Таблиця 2

Кінетики екстрагування квітів гісопу

Рослинна сировина	Маса квітів, Мс, г	Тиск Р, МПа	Час, τ, хв
Сорт Водограй (білий гісоп)	37,27	0,039...0,107	42
Сорт Маркіз (синій гісоп)	37	0,039...0,101	42
Сорт Національний (рожевий гісоп)	26,9	0,039...0,104	42

Результати дослідів наведено на рис. 2.

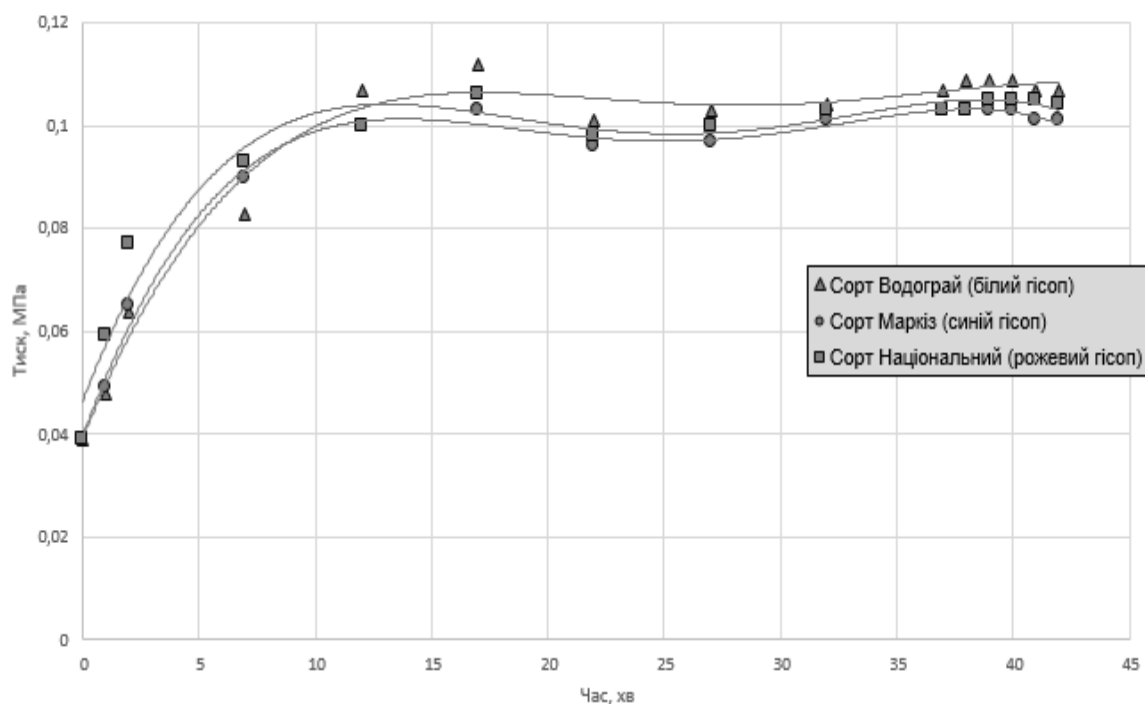


Рис. 2 – Кінетика екстрагування квітів гісопу

Після близько 12 хвилин проведення експерименту тиск у резонаторній камері досягає 0,1 МПа і далі практично не змінюється, що свідчить про стабілізацію процесу масоперенесення. Це характерно для різних сортів гісопу. Виконано розрахунки та досліджено вплив витрат енергії, часу та морфологічно-анатомічні властивостей сировини на вихід ефірної олії (табл.3).

Таблиця 3

Параметри екстрагування квітів гісопу

Рослинна сировина	Час, τ, с	Вихід ефірної олії, %
Сорт Маркіз (синій гісоп)	1620	0,08
	1920	0,08
	2520	0,12
Сорт Водограй (білий гісоп)	2280	0,24
	2520	0,2
	3180	0,16
Сорт Національний (рожевий гісоп)	1380	0,12
	1920	0,16
	2520	0,2

Результати дослідів представлено на рис. 3.

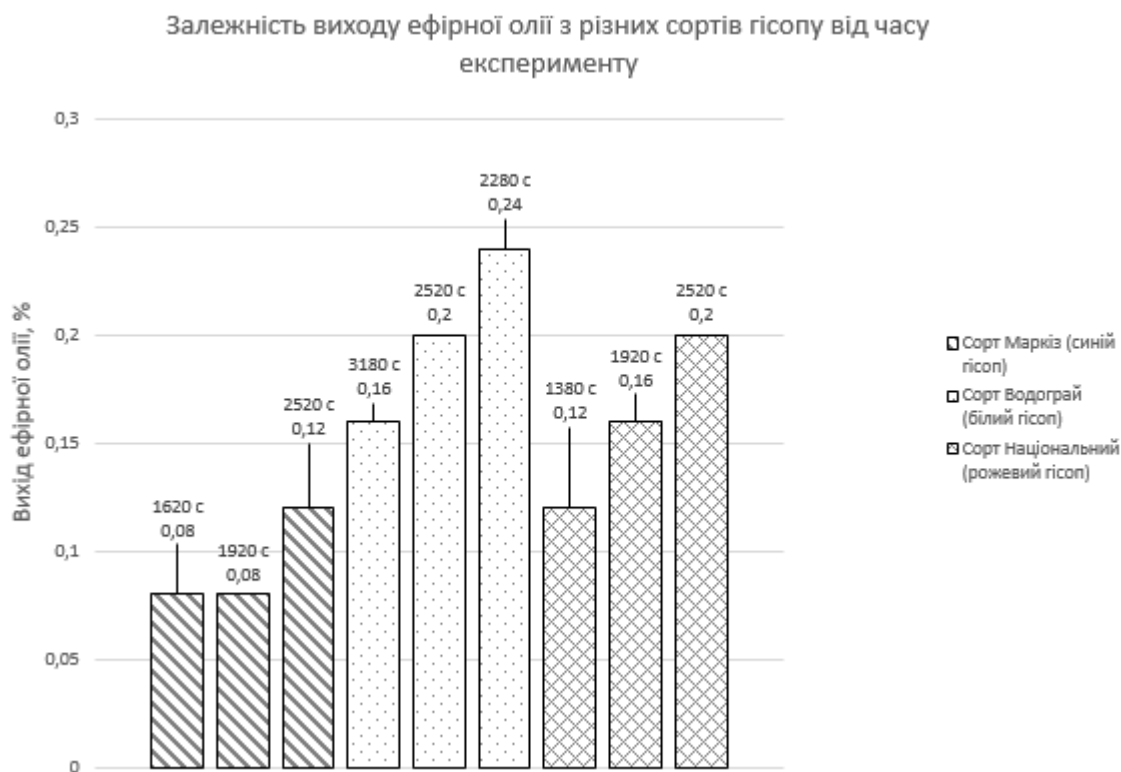


Рис. 3 – Залежність виходу ефірної олії від часу екстрагування та сорту гісопу

У сорту Водограй (білий) та Національний (рожевого) гісопу у порівнянні з сортом Маркіз (синій) міститься більше ефірної олії та вихід продукту збільшується прямопропорційно до часу проведення експерименту.

Висновки

1) Мета науковців-дослідників у двадцять першому столітті - стимулювати розвиток інноваційних процесів отримання ефірних олій, які підвищують вихід і якість летких олій та застосування їх у різноманітних галузях промисловості. Це дасть змогу невпинно прагнути до нових технічних та операційних горизонтів досконалості.

Мікрохвильове екстрагування без розчинника — це перспективний інноваційний екологічно чистий метод отримання ефірних олій завдяки дії електромагнітного поля на рідину у капілярі рослинної сировини, що викликає вихід компонентів з рослин у вигляді потужного гідродинамічного потоку. Він є доцільною альтернативою існуючих традиційних методів.

2) Визначено що при досягненні тиску в системі 0,1 МПа та часу проведення дослідження 12...15 хвилин починається масоперенесення, яке триває приблизно 30 хвилин не залежно від сорту гісопу (рис.2). Про це свідчить постійний тиск при збільшенні часу експерименту, що є фактором рушійної сили процесу.

3) Визначено експериментальним шляхом, що сорт гісопу, енергоспоживання та час процесу впливає на вихід ефірної олії. Так приблизно на однакових режимах та часу проведення експериментів вихід ефірної олії у гісопу сорту Водограй (білий) та сорту Національний (рожевий) вищий за сорт Маркіз (синій).

4) Отримані результати досліджень (рис.2, 3) є основою для організації екологічно безпечних та енергоефективних методів екстрагування із квітів гісопу. Для отримання доцільних режимів екстрагування потрібні комплексні та більш цілеспрямовані дослідження по виходу із екстрактів безпосередньо ефірних олій.

References

- Valeria Cavallaro, Ana Paula Murray, María Luján Ferreira (2023). Chapter 12 - Innovative and Eco-friendly methods and pretreatments for essential oil extraction: an update, Editor(s): Atta-ur Rahman, Studies in Natural Products Chemistry, Elsevier, Volume 78,. DOI:10.1016/B978-0-323-91253-2.00002-9.
- «TFood Additives & Ingredients/Essential Oils Market». <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/essential-oils-market-101063>
- Kovalenko O.A., Slavinskiy R.L., Fedosov Ya. S., Slavinska V.O., Al-Khamad I.M. (2023) Yeksperimentalne modelyuvannya protsesiv yekstraguvannya yefirnikh olii u mikrokhvilovomu poli. *Scientific Works* 87(1):109-116 87(1):109-116. DOI:10.15673/swonaft.v87i1.2700.

4. Machado, C. A. T., de Andrade, M. A. N., & Lepikson, H. A. (2019). Manufacturing 4.0: Discussion on Application in the extractive industry of essential oils. *Journal of Bioengineering and Technology applied to Health*, 2(3), 86-91.
5. OG Burdo, FA Trishyn, SG Terziev, AV Gavrilov, IV Sirotyuk (2021). Yelektrodynamicni protsesi yak yefektivne virishennya problem kharchovoї promislivosti, *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57(3), 330-344 <https://doi.org/10.3103/s1068375521030030>.
6. Burdo O.G., Levitskii A.P., Trishin F.A., Terziev S.G., Sirotyuk I.V., Burdo A.K., Lapinska A.P., Molchanov M.Yu. (2023). Yelektrodynamicni tekhnologii v yeko-industrii kharchovoї ta farmatsevtichnoї promislivosti *Problemele Energeticii Regionale*, 2 (58). DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.2-58-11>.
7. Burdo, O. G., Bandura, V. N., & Levtrinskaya, Y. O. (2018). Yelektrotekhnologii tsilespryamovanoї dostavki yenerгии pri pererobtsi kharchovoї sirovini. *Inzheneriya poverkhni ta prikladna yelektrokimiya*, 54(2), 210-218.
8. Tekhnologii adresnoї dostavki yenerгии i nanoenergotekhnologii. <http://nanofood.com.ua>
9. Asma Oubeka, Karim Assami, Dalila Meziane Assami & Rachid Tir. (2023) Enhancing Yields and Antioxidant Activities of Caraway Seeds Essential Oil by Ultrasonic Treatment Combined with Hydro-distillation, and Microwave-assisted Hydro-distillation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26(1), 10-20.
10. Shuang Li, Lifei Chen, Yunwei Zhou. (2023) Essential oil obtained from *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum* leaf using solvent-less microwave irradiation-induced hydrodistillation and extraction *in situ*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101259>
11. Ishrat Majid, Shafat Khan, Alanoud Aladel, Aamir Hussain Dar, Mohd Adnan (2022) Recent insights into green extraction techniques as efficient methods for the extraction of bioactive components and essential oils from foods. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2157492>.

INNOVATIVE METHODS OF PRODUCTION OF ESSENTIAL OILS

Kovalenko O.A. ², doctor of science, associate professor, Slavynskiy R.L. ¹,
graduate student of the department, Fedosov Y. S. ²,
graduate student, Slavynska V.O. ¹ an engineer
¹ Odessa National Technological University, Odessa
² Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv

Abstract. The article analyses traditional and innovative methods of obtaining essential oils. Significant disadvantages of traditional (outdated) methods have been identified and innovative (highly efficient) approaches, which are 'green' in nature, have been proposed. Innovative methods of obtaining essential oils are considered, and the effectiveness of their use in many sectors of the national economy is substantiated.

It is proposed to involve electrodynamic technologies in the process of obtaining essential oils. The hypothesis of microwaves treatment of plant raw materials, which contributes to the emergence of mechanodiffusion, is formulated.

The advantages of an innovative method of obtaining essential oils by microwave extraction without solvents are presented.

The experiments by the method of microwave extraction without solvents in a volumetric vacuum microwave extractor with different varieties of hyssop were carried out and the dependence graphs were constructed accordingly. The results of experimental studies of the kinetics of extraction of plant material are presented.

A comparative characteristic of the essential oil yield depending on the morphological and anatomical properties of the raw material, the time of the experiment and energy consumption is performed, and graphs of the corresponding dependencies are presented.

As a result of the experiment, the parameters under which the extraction of essential oil from hyssop is carried out were determined. Also, the variety of hyssop, which provides, *ceteris paribus*, a higher product yield, has been determined.

The tasks of research scientists in the twenty-first century, which can contribute to the development of innovative methods of obtaining essential oils, have been determined.

Keywords: essential oils, microwave electrodynamic extractors, dry distillation, energy efficiency, hyssop flowers.

Список використаної літератури

1. Valeria Cavallaro, Ana Paula Murray, Maria Luján Ferreira, Chapter 12 - Innovative and Eco-friendly methods and pretreatments for essential oil extraction: an update, Editor(s): Atta-ur Rahman, Studies in Natural Products Chemistry, Elsevier, Volume 78, 2023. DOI:10.1016/B978-0-323-91253-2.00002-9.
2. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/essential-oils-market-101063> - сайт «TFood Additives & Ingredients/Essential Oils Market».

3. Коваленко О.А., Славинський Р.Л., Федосов Я.С., Славинська В.О., Аль-Хамад І.М. (2023) Експериментальне моделювання процесів екстрагування ефірних олій у мікрохвильовому полі. // Scientific Works 87(1):109-116 87(1):109-116. DOI:10.15673/swonaft.v87i1.2700.
4. Machado, C. A. T., de Andrade, M. A. N., & Lepikson, H. A. (2019). Manufacturing 4.0: Discussion on Application in the extractive industry of essential oils. JOURNAL OF BIOENGINEERING OF AND TECHNOLOGY applied to Health, 2(3), 86-91.
5. OG Burdo, FA Trishyn, SG Terziev, AV Gavrilov, IV Sirotyuk (2021). Yelektrodinamichni protsesi yak yefektivne virishennya problem kharchovoi promislovosti // Surface Engineering and Applied Electrochemistry 57 (3), 330-344 <https://doi.org/10.3103/s1068375521030030>.
6. Бурдо О.Г., Левицький А.П., Трішин Ф.А., Терзієв С.Г., Сиротюк І.В., Бурдо А.К., Лапінська А.П., Молчанов М.Ю. (2023). Електродінамічні технології в еко-індустрії харчової та фармацевтичної промисловостей //PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 2 (58) DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.2-58-11>.
7. Бурдо О. Г., Бандура В.Н., Левтринська Ю. О. (2018). Електротехнології цілеспрямованої доставки енергії при переробці харчової сировини. Інженерія поверхні та прикладна електрохімія, 54(2), 210-218.
8. <http://nanofood.com.ua> – сайт Технології адресної доставки енергії і наноенерготехнологій.
9. Asma Oubeka, Karim Assami, Dalila Meziane Assami & Rachid Tir. (2023) Enhancing Yields and Antioxidant Activities of Caraway Seeds Essential Oil by Ultrasonic Treatment Combined with Hydro-distillation, and Microwave-assisted Hydro-distillation. Journal of Essential Oil Bearing Plants 26:1, P. 10-20.
10. Shuang Li, Lifei Chen, Yunwei Zhou. (2023) Essential oil obtained from *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum* leaf using solvent-less microwave irradiation-induced hydrodistillation and extraction *in situ*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101259>
11. Ishrat Majid, Shafat Khan, Alanoud Aladel, Aamir Hussain Dar, Mohd Adnan (2022) Recent insights into green extraction techniques as efficient methods for the extraction of bioactive components and essential oils from foods. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2157492>.

Отримано в редакцію 12.08.2024
Прийнято до друку 25.09.2024

Received 12.08.2024
Approved 25.09.2024