

Кафедра медичної біології, фармакогнозії, ботаніки та гістології

Кваліфікаційна робота

**на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему:**

**«Сучасні методи виділення та аналізу ефірних масел: порівняння
методів екстракції та їх вплив на якість кінцевого продукту»**

Виконав: студент денної форми навчання
спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація»
Адел Хафса

Керівник: Стрижак Олег Володимирович

Рецензент: Шаторна Віра Федорівна

д.біол.н., професорка

Рекомендовано до захисту:

протокол засідання кафедри
№ ____ від _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

Шаторна Віра Федорівна __ПІБ

Захищено на засіданні ЕК №_3_

протокол №3 від «16» червня 2025 р.

Оцінка _задовільно_ / __Е__ / 122_

(за національною шкалою/ за шкалою

ECTS/ бал)

Голова ЕК Левих А. Е. _

Дніпро – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИДІЛЕННЯ ЕФІРНИХ ОЛІЙ	5
1.1. Визначення ефірних олій та їх хімічний склад	5
1.2. Науковий внесок українських та іноземних вчених у дослідження методів екстракції ефірних олій.....	7
1.3. Світовий досвід використання ефірних олій у різних галузях.....	10
Висновки до розділу 1	13
2. МЕТОДИ ЕКСТРАКЦІЇ ЕФІРНИХ ОЛІЙ.....	14
2.1. Процес екстракції.....	14
2.3. Методи екстракції із застосуванням суб- та надкритичних рідин	16
2.4. Пресування (механічний метод)	16
2.5. Екстракція (екстракція летючими розчинниками і анфлераж).....	18
2.6. Екстракція ефірних олій за допомогою сучасних технологій	19
Висновки до розділу 2	22
3. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕФІРНИХ ОЛІЙ	23
3.1. Хроматографічні методи.....	23
3.2. Спектроскопічні методи	24
3.3. Фізико-хімічні методи аналізу	25
Висновки до розділу 3	26
4. ВПЛИВ МЕТОДІВ ЕКСТРАКЦІЇ НА ЯКІСТЬ ЕФІРНИХ ОЛІЙ.....	28
4.1. Порівняння виходу ефірних олій при різних методах екстракції	28
4.2. Вплив температурного режиму на склад компонентів.....	29
4.3. Збереження біологічно активних сполук при різних методах.....	31
Висновки до розділу 4	34
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37

ВСТУП

Актуальність теми. Ефірні олії широко використовуються в косметології, медицині, фармацевтиці та харчовій промисловості, що зумовлює зростання інтересу до оптимізації методів їх отримання. Вибір методу екстракції суттєво впливає на якість кінцевого продукту, його хімічний склад, вихід та екологічну безпечність виробництва.

Сучасні методи виділення ефірних олій, такі як гідродистиляція, парова дистиляція, надкритична флюїдна екстракція (SFE) та ультразвукова екстракція, мають свої переваги та недоліки, що вимагає їх ретельного аналізу та порівняння. Дослідження цих методів є важливим для покращення ефективності виробництва, збереження біологічно активних сполук та забезпечення високої якості кінцевого продукту.

Актуальність дослідження обумовлена також зростаючими вимогами до екологічності процесів та необхідністю розробки більш ефективних та безпечних методів виділення ефірних олій. Це дослідження дозволить визначити оптимальні технології екстракції, що забезпечують максимальну якість та біологічну активність отриманих олій, а також сприятиме розвитку екологічно безпечного виробництва.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження сучасних методів виділення та аналізу ефірних масел, а також порівняння методів екстракції та визначення їх впливу на якість кінцевого продукту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Визначити теоретичні основи виділення ефірних олій (історичний огляд);
- 2) Визначити та описати основні ефіроносні рослини;
- 3) Дати порівняльний аналіз методів виділення ефірних олій;
- 4) Провести порівняння методів аналізу властивостей ефірних олій;
- 5) Дати оцінку впливу методів екстракції на якість кінцевого продукту.

Методи дослідження. Під час дослідження порівняльний аналіз методів екстракції було використано для оцінки ефективності різних технологій за критеріями виходу ефірної олії.. Також було використано такі методи екстракції ефірних олій як гідродистиляція, надкритична флюїдна екстракція (SFE), ультразвукова екстракція. Для аналізу складу ефірних олій було використано наступні методи: газова хроматографія (ГХ), газова хроматографія з мас-спектрометрією (ГХ-МС), ІЧ-спектроскопія (FTIR), спектрофотометрія.

Новизна та значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості для підвищення ефективності та якості виробництва ефірних олій. Отримані результати можуть бути використані у подальших дослідженнях для створення нових методів екстракції та вдосконалення існуючих технологій.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота обсягом 42 сторінки друкованого тексту складається із 4 розділів, список використаних джерел налічує 32 найменування.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИДІЛЕННЯ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

1.1. Визначення ефірних олій та їх хімічний склад

Термін «ефірна олія» вперше з'явився в 16 столітті, натхненний концепцією «Quinta essentia», введеною німецько-швейцарським вченим і лікарем Парацельсом (1493-1541), відомим під повним іменем Теофраст Філіпп Ауреолус Бомбастус фон Гогенхайм. Парацельс був піонером стародавньої алхімії, сприяючи розробці рослинних екстрактів і трав'яних засобів. Він вважав, що процес дистиляції витягує з рослини її лікарську есенцію, яку він називав «духом рослини» або «есенцією зцілення», шляхом відділення основних активних елементів від непотрібних компонентів [1].

Ефірні олії – це природні маслянисті рідини з характерним запахом, які утворюються рослинами і відповідають за їхній унікальний аромат. Ці олії містяться у великих кількостях у різних частинах, таких як листя, кора, квіти, бруньки, насіння та шкірка. Оскільки вони являють собою концентровану суміш летких вуглеводневих сполук, які легко випаровуються при кімнатній температурі, вони також відомі як леткі олії, що робить вдихання через нюхову систему одним із найпоширеніших методів їх використання.

Більшість цих олій зазвичай екстрагують за допомогою дистиляції з водяною парою або гідродистиляції, тоді як олії екстрагують із шкірки цитрусових методом холодного віджиму. У деяких випадках, таких як екстракція олій троянди, неролі, туберози, жасмину та дубового моху, використовуються методи екстракції розчинником, оскільки рослинні матеріали чутливі до тепла або тиску [2].

Ефірні олії являють собою складну суміш хімічних сполук, включаючи вуглеводні та кисневмісні сполуки, такі як спирти, кетони, альдегіди, аліфатичні та циклічні кислоти, а також прості та складні ефіри. Ці олії зазвичай містять від 20 до 60 сполук у різних пропорціях, а деякі можуть перевищувати 300 сполук. Однак невеликий відсоток ефірних сполук (20-70%) зазвичай домінує в

загальному складі ефірної олії. Наприклад, ротундіфолон є основним компонентом олії листя *Mentha x villosa*, що становить близько 50-65% її складу. Тоді як 1,8-цинеол (евкаліптол) займає найбільшу частку (70-90%) ефірної олії *Eucalyptus globulus* Labill. В ефірній олії кори та листя *Cinnamomum zeylanicum* Blume основною сполукою є коричний альдегід, який становить 60-90% її компонентів [1,3].

Ефірні олії утворюються в різних частинах рослин і можуть бути отримані через різні біохімічні процеси. Вони складаються з летючих органічних сполук, які відповідають за характерний аромат рослин:

1) Хвойні рослини (Pinophyta, Pinopsida). У хвойних дерев ефірні олії утворюються у спеціальних тканинах, які знаходяться в листках та корі. Ці олії часто містять терпени та інші леткі сполуки, що відповідають за хвойний аромат;

2) Троянда (*Rosa* L.). У пелюстках троянди ефірні олії накопичуються в залозистих клітинах епідермісу. Трояндова олія, що отримується з цієї рослини, має дуже характерний аромат завдяки наявності таких сполук, як розаціна;

3) Кориця (*Cinnamomum verum*). У корі та листі кориці містяться ефірні олії. В олії кори переважає коричний альдегід, який надає їй характерного запаху, в той час як в листях — еugenol, який також додає свіжість аромату;

4) Селерові рослини (Apiales). У плодах селерових рослин ефірні олії накопичуються в навколопліднику, а самі олії мають властивості, що додають до їх ароматичних якостей відомі терпенові з'єднання;

5) М'ята (*Mentha*). Ефірні олії в м'яті містяться в залозках, що розташовані на стеблах і листі. Основною компонентною є ментол, який надає олії її характерний охолоджуючий ефект і запах;

6) Цитрусові (Citreae). У цитрусових рослинах ефірні олії утворюються як у пелюстках квіток, так і в шкірці плодів. Характерний цитрусовий аромат забезпечується в основному завдяки наявності лимонену та інших летких сполук у шкірці [3].

1.2. Науковий внесок українських та іноземних вчених у дослідження методів екстракції ефірних олій

Ефірні олії є цінними біологічно активними речовинами, властивості яких досліджуються у всьому світі. Вивчення методів екстракції ефірних олій є актуальним питанням для забезпечення їхньої якості та ефективності. Як українські, так і іноземні вчені постійно вносять значний вклад у дослідження цих методів, застосовуючи новітні технології та наукові підходи, для підвищення ефективності та якості отриманих продуктів.

Дослідженню методів виділення ефірних масел присвячено багато наукових праць вчених різних країн (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Наукові публікації, присвячені вивченню методів виділення ефірних масел

№ з/п	ПІБ дослідника	Країна дослідження	Назва наукової публікації
1	Ніколас Дж. Садгроув	Велика Британія	«Фундаментальна хімія ефірних олій і летких органічних сполук, методи аналізу та автентифікації»
2	Дж. Т. Ремсі, Б. С. Шропшир, Т. Р. Надь	Сполучені Штати Америки	«Ефірні олії та здоров'я»
3	Віссал Діфі, Сана Беллілі, Сабрін Джазі	Саудівська Аравія	«Хімічна характеристика ефірних олій і дослідження деяких біологічних активностей: критичний огляд»

У своїй науковій статті «Фундаментальна хімія ефірних олій і летких органічних сполук, методи аналізу та автентифікації» Ніколас Дж. Садгроув досліджує хімічний склад ефірних олій та летких органічних сполук. Він детально аналізує методи їхнього виділення та автентифікації, а також розробляє нові підходи до аналізу ефірних олій. Садгроув акцентує увагу на важливості точних методів аналізу для забезпечення якості та безпеки цих продуктів [4].

Публікація «Ефірні олії та здоров'я» написана американськими вченими про найпопулярніші методи екстракції ефірних олій, а також про вплив ефірних олій на здоров'я людини. Дж. Т. Ремсі, Б. С. Шропшир та Т. Р. Надь розглядають терапевтичні властивості ефірних олій, можливості їх застосування в медичній

практиці. Автори аналізують численні дослідження, що підтверджують позитивний вплив ефірних олій на фізичне та психічне здоров'я [5].

У науковій публікації «Хімічна характеристика ефірних олій і дослідження деяких біологічних активностей: критичний огляд» вчені з Саудівської Аравії, Віссал Діфі, Сана Беллілі та Сабрін Джазі, проводять хімічний аналіз ефірних олій та досліджують їхні біологічні активності. Вони розглядають різноманітні методи екстракції та їх вплив на хімічний склад і біологічні властивості ефірних олій. Дослідження також акцентує увагу на потенційному використанні ефірних олій у медицині та фармацевтиці [6].

Українські наукові вчені та дослідники екстракції ефірних олій зосереджуються на вдосконаленні існуючих методів та розробці нових технологій для виділення ефірних олій із рослинної сировини. У таблиці 1.2 наведено основні методи екстракції ефірних олій, які досліджували українські науковці.

Таблиця 1.1

Дослідження методів екстракції ефірних олій українськими вченими

№ з/п	ПІБ вченого	Метод екстракції
1	Коваленко О. А.	Традиційні методи (гідродистиляція, дистиляція паром, пресування); інноваційні методи (докритична рідинна екстракція, мікрохвильова гідродифузія та гравітація, ультразвукова гідродистиляція)
2	Славинський Р. Л.	Мікрохвильова дистиляція парою
3	Рубанка К. В.	Ультрозвукова екстракція

Як показано у таблиці 1.2, Коваленко О. А. досліджував як традиційні, так і інноваційні методи екстракції ефірних олій. Під час дослідження було виявлено суттєві недоліки застарілих методів і запропоновано інноваційні, високоефективні підходи, які є екологічно чистими. У науковій статті Коваленко О. А. «Інноваційні методи виробництва ефірних олій» розглянуто сучасні методи виділення ефірних олій, а також обґрунтовано їхню ефективність для використання в різних галузях народного господарства [7].

В статті «експериментальне моделювання процесів екстрагування ефірних олій у мікрохвильовому полі» приведені експериментальні данні дослідів на різних зразках квітів лаванди та гісопу сорту «Маркіз». Славинський Р. Л. проілюструював експериментальний стенд для проведення екстракції ефірної олії з лаванди та гісопу за допомогою інноваційного методу — мікрохвильової дистиляції парою [8].

Стаття «Ультразвукова екстракція ефірних олій: огляд» автора Рубанки К. В. розглядає альтернативні методи отримання ефірних олій за допомогою ультразвукової екстракції. У роботі представлено різні види пряної сировини, які використовуються в харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловостях. Цей метод є інноваційним і дозволяє отримувати ефірні олії з високою ефективністю та якістю, зберігаючи при цьому корисні властивості рослинної сировини. У статті також обговорюються переваги та недоліки ультразвукової екстракції порівняно з традиційними методами.

Загалом, українські наукові публікації присвячені дослідженню багатьох методів екстракції ефірних олій, які мають свої переваги та недоліки. Вибір методу залежить від конкретних вимог до кінцевого продукту та наявних ресурсів.

Інноваційні підходи, такі як ультразвукова екстракція етанолом, мають значний потенціал для підвищення ефективності та якості отриманих екстрактів. Використання цих методів у поєднанні з традиційними технологіями дозволяє оптимізувати процес виділення ефірних олій та забезпечити їх високу якість.

Таким чином, науковці та вчені різних країн демонструють важливість досліджень у сфері екстракції та аналізу ефірних олій для забезпечення їхньої якості та безпечності, а також для розширення можливостей їх використання в різних галузях промисловості та медицини. Українські вчені також роблять вагомий внесок у розвиток технологій виділення ефірних олій, що сприяє підвищенню їхньої конкурентоспроможності на світовому ринку [9].

1.3. Світовий досвід використання ефірних олій у різних галузях

Використання ефірних олій і рослинних екстрактів у косметичній промисловості є дуже поширеним у всьому світі. Застосування ефірних олій і рослинних екстрактів у косметичці привертає інтерес людини здавна, оскільки активні речовини, витягнуті з рослин, використовуються в парфумерно-косметичній промисловості. Історичні дослідження в країнах походження цих рослин, таких як Індія, Китай, Єгипет та Іран, показують, що лікарські рослини використовувалися як косметичні продукти протягом століть. За оцінками, понад 80% населення світу покладаються на традиційну медицину, включаючи рослинні екстракти або їх активні сполуки, щоб задовольнити свої потреби у здоров'ї. Наприклад, у Стародавньому Єгипті олію лікарських рослин добували за допомогою водяної пари, а римляни та греки використовували дистиляцію як метод добування олій. З розвитком ісламської цивілізації використання лікарських рослин прискорилося завдяки інноваційним методам, які сприяли вдосконаленню методів видобутку масел і ефірних масел.

Зараз на ринку спостерігається зростання попиту на косметику на основі трав, яка вважається екологічно чистою та відновлюваною. До 2021 року «натуральна косметика» становила значну частку світового ринку косметики, оцінену приблизно в 40 мільярдів доларів, або близько 10% ринку. Рослинні ефірні олії використовуються в різних косметичних продуктах, таких як зволожувачі, лосьйони та засоби для очищення шкіри, завдяки їх протизапальним, антибактеріальним і антиоксидантним властивостям.

Наприклад, ефірні олії розмарину і ромашки можна додавати в шампунь, так як ці олії сприяють живленню, зволоженню і зміцненню волоссяних цибулин, а також допомагають усунути шкідливі частинки, які закупорюють пори шкіри. Ефірні олії, такі як олія перцевої м'яти (*Mentha piperita*), також використовуються для стимуляції росту волосся та запобігання його випадінню. Ефірні олії також ефективні в лікуванні прищів, завдяки своїй здатності пригнічувати ріст бактерій *Propionibacterium acnes*. Крім того, ефірні олії можна використовувати в

сонцезахисних кремах завдяки їх здатності поглинати УФ-промені (в діапазоні 290-400 нм), що допомагає захистити шкіру від старіння, сонячних опіків і зморшок. Лабораторне дослідження показало, що склад крему, що містить ефірні олії календули лікарської, забезпечує хороший захист від впливу сонця. Що стосується консервантів, консерванти використовуються в косметичці для запобігання мікробному псуванню, таким чином збільшуючи термін придатності продуктів. Однак деякі споживачі стурбовані безпекою хімічних консервантів, зростаючий інтерес до використання косметики без консервантів або самоконсервуючих. Тому роль ефірних олій і рослинних екстрактів постає як природна і безпечна альтернатива хімічним консервантам, що підвищує якість і ефективність косметичних засобів [10].

Також поширеним є використання ефірних масел і рослинних екстрактів як інсектицидів. Рослини є багатим джерелом захисних хімічних речовин, які можуть виявляти інсектицидну, репелентну, привабливу, протипоживну та регулюючу ріст дію на комах. Вони, як правило, дуже ефективні в боротьбі зі шкідниками, часто з мінімальними несприятливими впливами на нецільові організми, такі як паразити та хижаки, що робить їх екологічно кращим варіантом порівняно з традиційними хімічними інсектицидами. Синтетичні пестициди роками використовувалися для боротьби з хворобами після збору врожаю, але в міру того, як їх використання зросло, серед споживачів зростає занепокоєння щодо потенційних ризиків токсичних залишків на посівах. Це занепокоєння призвело до необхідності розробки природних і безпечних альтернатив для зменшення використання хімічних пестицидів. У цьому контексті ефірні олії та рослинні екстракти стали перспективним варіантом боротьби з комахами та шкідниками. Кілька досліджень показали, що такі рослинні екстракти, як олія німу (*Azadirachta indica*) та ефірні олії гвоздики (*Syzygium aromaticum*), розмарину (*Rosmarinus officinalis*), м'яти перцевої (*Mentha piperita*), кориці (*Cinnamomum zeylanicum*), лимона (*Citrus limon*) і чебрець (*Thymus vulgaris*) має ефективні властивості боротьби з комахами, тому ці олії використовують у виробництві інсектицидів [10].

Ще ефірні олії використовують для дезінфекції приміщень для тварин. Ефірні олії можна ефективно використовувати для очищення повітря в пташниках, хоча дослідження в цій галузі обмежені. Такі дослідження, як Witkowska і Sowińska і Witkowska et al., показали, що Фумігація пташників ефірними оліями може допомогти покращити стандарти якості в цих приміщеннях. У зв'язку з цим у пташниках бройлерів обприскували водні розчини, що містять ефірні олії. Результати показали, що ефірні олії, отримані з чебрецю та м'яти перцевої, допомогли зменшити кількість бактерій, таких як кишкова паличка, стафілокок, цвіль і дріжджоподібні гриби. Зокрема, дослідження показало, що кількість бактерій була вищою в контрольному сараї порівняно з сараєм, обприсканим ефірними маслами. Зниження мікробів також спостерігалось на стінах та обладнанні в оброблених коморах. Хоча відмінності в кількості бактерій між ефірними оліями були помітні, у деяких вони не були статистично значущими [11].

В органічному землеробстві теж активно використовують ефірні олії. Оскільки глобальний попит на продукти тваринного походження зростає, необхідно розробляти нові системи виробництва, які збалансували б продовольчу безпеку та екологічну стійкість. Органічне тваринництво є однією з перспективних стратегій досягнення цієї мети, оскільки воно відповідає вимогам споживачів щодо добробуту тварин, здоров'я населення та захисту навколишнього середовища. З огляду на їхні унікальні властивості. А також протипаразитарну дію, ефірні олії виділяються як інноваційний варіант у галузі органічного тваринництва.

У сучасному сільському господарстві ефективна боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками має першочергове значення. Хоча агрохімікати, такі як інсектициди, фунгіциди та бактерициди, ефективні, вони можуть залишатися в навколишньому середовищі та накопичуватися в продуктах харчування. Навпаки, натуральні ефірні олії, витягнуті з рослин, є екологічно чистою альтернативою, оскільки вони мають численні властивості проти шкідників і хвороб, включаючи інсектицидну дію, здатність відлякувати шкідників, перешкоджати їм відкладати

яйця, на додаток до їх ролі в регулюванні росту комах і контролі переносників хвороб. Незважаючи на триваючі дослідження пестицидних властивостей ефірних олій в усьому світі, кількість комерційних продуктів на основі цих олій все ще обмежена. На думку Павели та Пінеллі, складність чинного законодавства та процедур ліцензування є перешкодою для трансформації наукових досліджень у практичне застосування. Таким чином, одним із майбутніх завдань у дослідженні біопестицидів є покращення джерел ефірних олій і розробка ефективних методів іммобілізації, таких як мікрокапсуляція.

Дослідження показують, що використання інсектицидних емульсій типу «олія у воді» може підвищити їхню біологічну ефективність і зменшити необхідні дози, що робить їх перспективним варіантом у розробці стійких і екологічно чистих інсектицидів. У результаті ефірні олії можуть відігравати ключову роль у сприянні сталим методам сільського господарства, сприяючи покращенню якості сільськогосподарської продукції та зменшенню залежності від шкідливих хімікатів [11].

Висновки до розділу 1

Результати показують, що ефірні олії є складною сумішшю летючих органічних сполук, відповідальних за запах рослин, і утворюються в різних частинах рослин. До його хімічного складу входять вуглеводні, спирти, альдегіди, кетони, прості ефіри. Основні компоненти ефірних олій можуть сильно відрізнятися залежно від виду рослини, що надає кожній олії свої унікальні властивості. науковці та вчені різних країн демонструють важливість досліджень у сфері екстракції та аналізу ефірних олій для забезпечення їхньої якості та безпечності, а також для розширення можливостей їх використання в різних галузях промисловості та медицини. Ефірні олії широко використовуються в медичній, косметичній та харчовій промисловості завдяки своїм антисептичним, антимікробним і ароматерапевтичним властивостям, що робить їх важливими інгредієнтами для створення природних засобів.

2. МЕТОДИ ЕКСТРАКЦІЇ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

2.1. Процес екстракції

Екстракція рослинного матеріалу передбачає виділення біологічно активних сполук із зразка за допомогою селективних розчинників і дотримання стандартних процедур екстракції. Досягнення високої швидкості екстракції залежить від вибору відповідного розчинника, який повинен бути сумісним з природою цільових сполук. Полярність сполук відіграє вирішальну роль у цьому процесі; Для добування неполярних сполук використовують неполярні розчинники, такі як гексан і хлороформ. Навпаки, метанол, етанол, ацетон і водно-спиртові розчинники є найпоширенішим вибором для вилучення полярних сполук.

Оскільки фенольні сполуки стійкі в кислому середовищі, для їх екстракції часто використовують кислі водно-спиртові розчинники. На ефективність екстракції впливає кілька факторів, у тому числі фізичні та хімічні властивості розчинників, такі як температура кипіння, в'язкість, щільність, тиск пари та розчинність, а також їх вартість, займистість і токсичність. Крім того, важливу роль відіграє підготовка зразка, на яку впливають такі фактори, як сушіння, подрібнення та розмір часток. Умови екстракції, такі як тривалість процесу, температура, кількість етапів екстракції, співвідношення розчинника до зразка та використання сурозчинників, також впливають на ефективність екстракції [12].

2.2. Традиційні методи екстракції (дистиляція водою або парою)

Традиційні методи добування ефірних олій, такі як дистиляція з водяною парою та гідродистиляція, є одними з найдавніших методів, що використовуються [8]. Завдяки простоті даної технології та її низькій економічній вартості. Цей метод заснований на використанні пари для перенесення ефірних

олій з рослин, оскільки пара проходить через рослинний матеріал без занурення його у воду, що допомагає ефективно витягувати ароматичні сполуки.

Цей процес гнучкий і застосовний до різних масштабів виробництва, і він підтримує якість ефірних олій без значного погіршення. Однак він страждає від деяких недоліків, таких як втрата деяких летких сполук, вплив тепла, що може призвести до розкладання деяких сполук, на додаток до високого споживання енергії та тривалого часу екстракції.

Тому останні дослідження спрямовані на розробку альтернативних методів або вдосконалення парової дистиляції шляхом поєднання її з ультразвуком або мікрохвильовою піччю, що зменшує вплив тепла та покращує ефективність екстракції, зберігаючи при цьому хімічні та сенсорні властивості ефірних олій [9].

Водна дистиляція використовується для висушених рослинних компонентів, які витримують кип'ятіння без пошкодження. Наприклад, скипидарну олію добувають таким чином: смолу поміщають з водою в перегінну колбу, потім суміш нагрівають, при цьому летючі речовини (скипидар і вода) конденсуються в конденсаційній колбі [3,8].

Дистиляція водою та парою використовується для рослинних інгредієнтів (висушених або свіжих), які можуть бути пошкоджені кип'ятінням. При використанні цього методу для сухих інгредієнтів, таких як кориця і гвоздика, речовина подрібнюється і покривається водою, потім через суміш пропускається пара. Оскільки деякі компоненти ефірної олії можуть бути пошкоджені при кип'ятінні, готова пара пропускається через труби до дистиляційної колби, де ефірна олія відділяється від води [3,8].

Пряма дистиляція з водяною парою використовується для свіжих інгредієнтів, таких як м'ята. Одразу після збору врожаю матеріал поміщається в дистиляційний апарат, де пара прокачується і проходить через сировину, а потім переносить пари ефірної олії в конденсаційну колбу [3].

2.3. Методи екстракції із застосуванням суб- та надкритичних рідин

Надкритична рідинна екстракція (SFE) — це передова, ефективна, швидка та екологічно чиста технологія вилучення ефірних олій (ЕО) з рослин. Ці олії багаті на ароматичні сполуки, які відіграють важливу роль у багатьох галузях промисловості, таких як харчова, парфумерна, косметична, фармацевтична та охорона здоров'я [7].

У порівнянні з дистиляцією з водяною парою або традиційною екстракцією органічними розчинниками, цей метод пропонує кілька переваг, таких як усунення залишків розчинника та зменшення потреби у високих температурах, що зберігає стабільність термочутливих сполук в екстрактах.

Технологія надкритичної рідинної екстракції використовується для вилучення антиоксидантів із листя орегано, що робить його придатним для виробництва функціональних харчових інгредієнтів, зберігаючи при цьому сенсорні властивості спеції.

Високий тиск CO₂ дозволяє виробляти високоякісні екстракти за конкурентоспроможною ціною. Кілька факторів впливають на ефективність процесу, наприклад обробка сировини перед екстракцією, робочий тиск, температура та швидкість потоку розчинника, які визначають швидкість екстракції та склад кінцевого екстракту.

Надкритична рідинна екстракція має більшу селективність порівняно зі звичайними розчинниками, зменшуючи вилучення небажаних сполук, таких як дубильні речовини, хлорофіл і мінерали. Деякі дослідження показали, що ця методика є ефективною для отримання ефірної олії орегано та живиці з його листя [8].

2.4. Пресування (механічний метод)

Механічні методи, такі як пресування, використовуються для вилучення деяких ефірних олій, які можуть бути розщеплені під час дистиляції. Наприклад,

олії, які містяться в цитрусових шкірках, таких як апельсин, лимон і бергамот, витягуються методом пресування, оскільки цей метод є більш ефективним, ніж дистиляція, у збереженні якості аромату [3].

Холодне пресування кісточок вишні проводили за допомогою шнекового преса (СЗР «Мікрон», Темерін, Сербія). 6 кг вишневих кісточок пресували при внутрішній температурі 70°C, при швидкості обертання 26 Гц, лише за одне повторення процесу. Після того, як нафту було вилучено, її збирали в резервуар для відстоювання дрібних частинок, а через кілька днів брали пробу з верхнього шару, переносили в бурштинові пляшки об'ємом 250 мл, повністю заповнювали, щоб зменшити присутність кисню, і потім зберігали при 4 °C до аналізу [10].

Процес пресування здійснюється декількома механічними методами, серед яких:

1) Метод губки. Процес починається з миття цитрусових (таких як апельсини, лимони та бергамоти) і розрізання їх навпіл, а потім вичавлення соку. Потім шкірку скручують, щоб розірвати ароматні залози, а ефірну олію збирають змоченою в олії губкою. Коли губка заповнена, її вдавлюють у контейнер для збору ефірної олії, а потім ефірну олію відокремлюють від верхнього шару;

2) Метод дряпання. Цей метод використовувався на Французькій Рив'єрі за допомогою інструменту під назвою «*écuelle à piquer*» (або чаша для пуншу). Інструмент складається з мідної лійки з верхньою пластиною, оснащеною металевими голками для проколювання шкірки цитрусових. Коли лимон поміщають всередину інструменту та вмикають, ароматичні залози подряпаються, що починає виділяти олію, яка збирається в ручці інструменту. Іноді зібрану рідину зливають у більшу ємність, де вона відстоюється, а потім фільтрують.

Зараз ефірні олії екстрагують за допомогою сучасних машин, які працюють за тим самим принципом, таких як центрифуги, які використовуються для відділення емульсії, що утворюється в процесі пресування. Ці машини замінили традиційні ручні методи вилучення ефірної олії [3].

2.5. Екстракція (екстракція летючими розчинниками і анфлераж)

Метод екстракції використовується для отримання ефірних олій, які не можуть витримувати високу температуру або які присутні в дуже малих кількостях у рослинних тканинах, що робить їх вилучення традиційними методами, такими як дистиляція, неефективним у промислових масштабах. Під час дистиляції деякі ефірні олії можуть бути втрачені в дистильованій воді, що ускладнить їх відділення. Тому екстракція використовується для отримання олій з таких квітів, як жасмин, фіалка, тубероза, гарденія, акація, нарцис, мімоза, гіацинт. Цей метод базується на використанні легкокиплячих розчинників, таких як бензол і гексан, або нелетких розчинників, таких як тверді та рідкі жири [3].

У методі екстракції летючим розчинником ефірні олії екстрагують із сировини за допомогою летких розчинників з низькою температурою кипіння за допомогою таких процесів, як фільтрація або безперервна екстракція в екстракторі Сокслета. Потім екстракт випаровують при зниженому тиску, щоб відокремити летючий розчинник від ефірної олії, хоча деякі компоненти сірки в олії можуть бути втрачені під час процесу. Основна перевага цього методу порівняно з дистиляцією полягає в підтримці низьких температур (близько 50°C), що дозволяє зберегти хімічний склад ефірних олій і, таким чином, краще зберегти їх природний аромат. З цієї причини цей метод використовується в парфумерній промисловості, де якість аромату має величезне значення. Однак через високу вартість він не поширений у великомасштабному виробництві ефірної олії [3].

Екстракція нелетким розчинником використовується для вилучення елітних ефірних масел, особливо в парфумерній промисловості. Він підходить для вилучення олій з квітів, які містять дуже невелику кількість ефірної олії у своїх маленьких пелюстках, що робить комерційно непрактичними традиційні методи, такі як дистиляція або пресування [3].

2.6. Екстракція ефірних олій за допомогою сучасних технологій

Одним із найпоширеніших методів екстракції ефірних олій за допомогою сучасних технологій є екстракція за допомогою мікрохвиль (MAE) — це передова техніка, яка використовується для вилучення активних сполук із рослин, де мікрохвильове випромінювання забезпечує вищу термічну ефективність порівняно зі звичайними методами нагрівання. На відміну від теплопровідності, коли тепло повільно передається через середовище, мікрохвилі безпосередньо нагрівають весь зразок, скорочуючи час екстракції та підвищуючи ефективність процесу. Крім того, MAE дозволяє зосереджувати енергію лише на зразку, забезпечуючи однорідний розподіл енергії та покращуючи відтворюваність результатів. MAE можна проводити без використання додаткових розчинників, оскільки молекули води всередині клітин рослин нагріваються мікрохвильовим випромінюванням. Це створює внутрішній тиск, який викликає швидкий розрив клітинних мембран, що сприяє вивільненню активних сполук [11].

Ще одним методом є мікрофлюїдна екстракція без розчинників (SFME), де вода в рослинній тканині діє як природне екстракційне середовище, що робить його ідеальним методом для вилучення летких сполук, таких як ефірні олії [11].

Поширеним також є метод покращеної мікрохвильової екстракції (ISFME). Для захисту термочутливих сполук під час SFME можна використовувати хімічно стабільні матеріали, такі як іонні рідини, графітовий порошок і активоване вугілля, які поглинають мікрохвильову енергію та допомагають підвищити ефективність екстракції. Цей передовий метод відомий як розширена мікрохвильова екстракція (ISFME) [11].

Також у світі широко використовують ультразвукову екстракцію. Ультразвук — це звукові хвилі з частотою, що перевищує діапазон людського слуху (більше 20 кГц), згідно з визначенням Американського національного інституту стандартів. Технологія ультразвукової екстракції базується на явищі акустичної кавітації, коли хвилі проходять через рідину, викликаючи послідовні

зміни між стисненням і розширенням, що призводить до утворення бульбашок газу (Suslick & Price, 1999). Коли ці бульбашки ростуть, вони накопичують величезну кількість енергії, досягаючи температури до 4500°C і тиску до 100 Мпа, яка виділяється, коли вони лопаються, створюючи гарячі точки (Suslick & Doktycz, 1990). Коли бульбашки колапсують всередині рідини, ефект є симетричним, тоді як на поверхні зразка відбувається асиметричний колапс, генеруючи сильні потоки рідини, що посилює проникнення розчинника в структуру зразка, зменшує розмір частинок і збільшує перемішування середовища, сприяючи покращенню ефективності екстракції біоактивних сполук (Vinatoru et al., 2017). Цей асиметричний колапс є важливим елементом ультразвукової екстракції, що потребує достатньої енергії для досягнення бажаного ефекту кавітації [11].

Ультразвук вперше був використаний у 1949 році для вилучення жиру з риби та її печінки (Tiwarī, 2015). Сьогодні він набуває популярності як інноваційна технологія, застосовна в різних галузях промисловості. Найважливішими перевагами цієї технології є її висока ефективність, безпека та екологічність (Medina-Torres et al., 2017; Teng et al., 2016). З точки зору споживання енергії, ультразвукова екстракція вимагає близько 0,25 кВт-год, порівняно з замочуванням (6 кВт-год) і методом Сокслета (8 кВт-год) (Chemat et al., 2017). Крім того, викиди CO_2 за допомогою цієї методики значно нижчі (200 г CO_2 на 100 г вилученого зразка) порівняно з замочуванням (3600 г CO_2) і методом Сокслета (6400 г CO_2) (Chemat et al., 2017).

Крім того, ультразвукова екстракція має наступні переваги:

- менше споживання розчинника;
- простий в експлуатації та не потребує висококваліфікованих операторів;
- низькі інвестиційні витрати;
- вища чистота екстрактів порівняно з традиційними методами;
- можливість його застосування в промислових масштабах [11].

Розглянемо екстракцію за допомогою холодної плазми. Плазмова технологія була вперше відкрита в 1879 році сером Вільямом Круксом, а Ірвінг

Ленгмюр ввів термін «плазма» в 1927 році через її складну структуру, схожу на плазму крові (Ganesan та ін., 2021). З 1970-х років плазма використовується комерційно в електронній та полімерній промисловості, як зазначали Уорд та інші в 1978 році (Yeasmen & Orsat, 2021).

Плазма є четвертим станом речовини, поряд із твердими речовинами, рідинами та газами, і утворюється, коли гази іонізуються, де кінетична енергія атомів зростає до такого рівня, що дозволяє вивільнити зовнішні електрони, що призводить до утворення позитивних іонів. Плазма характеризується мінливим фізичним станом, який залежить від взаємодії між кінетичною енергією атомів/молекул і балансом між силами зв'язку та теплом (Tabares & Junkar, 2021).

Плазма зазнає кількох ланцюгових реакцій, таких як збудження, іонізація молекул, рекомбінація іонів і зв'язування електронів, що призводить до випромінювання надлишкової енергії у вигляді електромагнітного випромінювання (видимого світла та ультрафіолетових фотонів). Плазма складається із суміші вільних електронів, іонів, заряджених частинок і фотонів (Misra et al., 2018). Дослідження показують, що іонізація повітря в системах холодної плазми (АСР) створює понад 75 типів реактивних частинок, здатних взаємодіяти в 500 хімічних процесах протягом різних часових масштабів, від наносекунд до секунд (Misra et al., 2019). Плазма класифікується на основі електронної густини та температури. Нетеплова або холодна плазма (СР) визначається як така, що має температурний дисбаланс між електронами та іонами, коли температура електронів вища за температуру іонів, що дозволяє їм взаємодіяти без значного підвищення температури навколишнього середовища, а її температура залишається в межах 25-65 °C (Sharox et al., 2021; Jadhav et al., 2021). Навпаки, теплова (ізотропна) плазма має однаково високі рівні енергії для електронів та іонів, що робить її непридатною для харчових продуктів, оскільки вона працює при дуже високих температурах (на тисячі градусів вище кімнатної).

Властивості плазми залежать від ступеня іонізації, яка пов'язана з температурою іонів та інтенсивністю зіткнень між різними частинками (Charoux et al., 2021; Zhang et al., 2019). Плазма може бути створена з різних джерел енергії,

таких як електрика, тепло, електромагнітне випромінювання або ультрафіолетове світло, і холодна плазма часто іонізується за допомогою електричних розрядів (таких як діелектричний бар'єр, плазмовий струмінь, дуга ковзання, коронний або мікрохвильовий розряд), а також хімічні, магнітні або електричні методи [11].

Висновки до розділу 2

Результати показують, що традиційні методи є найпростішими та найменш дорогими, але вони мають ряд недоліків (втрата летючих сполук, вплив тепла на стабільність деяких компонентів, високе споживання енергії). Дослідження показали, що екстракція з використанням субкритичних та надкритичних рідин є ефективним та екологічно чистим методом, оскільки забезпечує високу селективність та зберігає термочутливі сполуки. Також можна отримати високоякісні екстракти без залишків розчинників. Однак це вимагає використання спеціалізованого обладнання та високого тиску, що здорожує виробництво. Як зазначено в механічних методах (пресування), тиск ефективний для вилучення ефірних олій із шкірки, зберігаючи при цьому якість запаху. Холодне пресування дозволяє уникнути термічного розкладання сполук, але цей метод обмежений типами сировини та кількістю отриманої олії. Результати показали, що екстракція леткими розчинниками зберігає хімічний склад олій завдяки використанню низьких температур і селективних розчинників, але її застосування обмежене через високу вартість і складність очищення олії від залишків розчинників. Сучасні методи, такі як мікрохвильова екстракція, є швидким і ефективним процесом безпосереднього нагрівання зразка, що зменшує витрати енергії та часу. Це також дозволяє уникнути використання додаткових розчинників або стабілізаторів для захисту термочутливих сполук. Ультразвукова екстракція заснована на явищі акустичної кавітації, яка покращує проникнення розчинника в клітинну структуру рослин, таким чином прискорюючи процес екстракції. Цей метод ефективний, енергозберігаючий і підходить для чутливих до тепла транспортних засобів.

3. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

3.1. Хроматографічні методи

Хроматографія є життєво важливим інструментом для аналізу ефірних олій завдяки її чудовій здатності розділяти та точно ідентифікувати складні компоненти. Цей метод особливо використовується для вивчення енантімерної структури хіральних сполук, присутніх в ефірних оліях, що є ключовим для визначення їх якості та автентичності [12].

У всьому світі поширеним є застосування комплексного аналізу за допомогою двовимірної газової хроматографії (ГХ×ГХ). Техніка комплексної двовимірної газової хроматографії (GC×GC) була успішно застосована для вивчення енантімерного складу ефірної олії лаванди. Це дослідження покладалося на модифікацію потоку для роботи в режимі зворотного потоку, з виявленням полум'я (FID) і квадрупольною мас-спектрометрією (QMS), використовуваними для ідентифікації сполуки. Використано дві серії поетичних колонок:

Модифікований β -циклодекстрин, такий як 2,3-ді-О-етил-6-О-трет-бутилдиметилсиліл- β -циклодекстрин або 2,3,6-три-О-метил- β -циклодекстрин як хіральна колонка в першому вимірі. α -Поліетиленгліколь у другому вимірі. Таке розташування призвело до точного розділення α -пінену, β -пінену, камфори, лавандулолу, борнеолу та терпінен-4-олу, що дозволило точно виміряти енантімерні співвідношення. Ця методика є ефективним способом оцінки якості та автентичності ефірної олії лаванди [13].

Широко застосовується також аналіз ефірних олій *Rosa damascena*. Ефірні олії *Rosa damascena* болгарського та турецького походження досліджували за тією ж модифікованою методом GC×GC. Використовується 2,3-ді-О-етил-6-О-трет-бутилдиметилсиліл- β -циклодекстрин як хіральна перша колонка. Поліетиленгліколь як друга колонка. Таке розташування призвело до точного оптичного розділення сполук, що дозволило визначити оптичний надлишок

деяких терпеноїдів. Цей аналіз є ефективним засобом контролю якості та перевірки автентичності ефірних олій [14].

Ще одним методом аналізу є хіральний аналіз ефірних олій *Mentha spicata*. Хіральні терпеноїди в олії *Mentha spicata* вивчали за допомогою ГХ-ПІД та ГХ-МС у режимі теплового градієнта. Хіральне розділення було досягнуто модифікованими β -циклодекстриновими колонками, такими як:

- 2,3-ді-О-етил-6-трет-бутилдиметилсиліл- β -циклодекстрин (TBDE- β -CD), який показав високу селективність для більшості хіральних сполук, крім карвону;
- 2,3-діацетокси-6-трет-бутилдиметилсиліл- β -циклодекстрин (TBDA- β -CD), який продемонстрував відмінне енантімерне розділення енантімерів карвону.

Дослідження продемонструвало присутність деяких енантімерів, таких як (+)-ізоментон, (-)-ментон і (1R, 2S, 5R)-(-)-ментол, у кількості понад 99%. Наявність ®-(+)-лімонену та (S)-(+)-карвону також була вперше виявлена в олії *M. Spicata*, що дозволило використовувати їх як географічні маркери індійського походження [15].

3.2. Спектроскопічні методи

FTIR (інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є) заснована на принципі, згідно з яким молекули поглинають інфрачервоне випромінювання на певних частотах, які відповідають шаблонам коливань їхніх хімічних зв'язків. Отриманий спектр поглинання створює «молекулярний відбиток», який дозволяє ідентифікувати органічні та неорганічні сполуки. Функціональні групи поглинають інфрачервоне випромінювання в тому самому діапазоні хвильових чисел, незалежно від сполуки, в якій вони знаходяться, що дозволяє ідентифікувати матеріали за допомогою розпізнавання смуг в інфрачервоному спектрі [16].

Область середнього ІЧ-випромінювання найбільш широко використовується в аналізі, охоплюючи діапазон $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$. FTIR працює шляхом взаємодії інфрачервоного світла з молекулярними коливаннями, які створюють дипольний момент. Проте чисті метали, які мають лише металеві зв'язки, не демонструють значного інфрачервоного поглинання, що обмежує їх використання в спектроскопії.

Однак FTIR можна використовувати для характеристики молекулярних матеріалів, адсорбованих на металевих поверхнях.

Загальні методи в FTIR включають:

- пропускаюча спектроскопія (ТС) – для дослідження прозорих або тонких зразків;
- ослаблене повне відбиття (ATR) – для легкого аналізу твердих і рідких зразків без складної підготовки;
- фотоакустична спектроскопія (PAS) – для аналізу непрозорих зразків або зразків з нерівною поверхнею.

Якість спектру визначається відповідним вибором технології, джерела світла та детектора. Тому оптимальна методика повинна бути визначена відповідно до характеру зразка та мети аналізу.

Нещодавні вдосконалення приладів FTIR призвели до розробки більш чутливих методів, які значно скоротили час, необхідний для підготовки зразків. Це робить його ідеальним інструментом для лабораторних і практичних застосувань. Однак FTIR менш ефективний при аналізі чистих металів через їхнє слабке інфрачервоне поглинання [16].

3.3. Фізико-хімічні методи аналізу

Усі випробування проводилися відповідно до Європейського керівництва (EP) з незначними змінами. Зразки капали на фільтрувальний папір однією краплею, а потім папір витримували в духовці при 80°C протягом 30 хвилин для тестування абсорбованих жирних і ароматичних масел. Зразки упаковували в

скляні пробірки і фотографували, щоб оцінити їх зовнішній вигляд. Етикетки зразків також перевіряли на інформацію про хемотип.

Випробування відносної густини, показника заломлення, оптичного обертання та кислотного числа проводили згідно з методами, зазначеними в ЕР 10.0. Відносну щільність оцінювали за допомогою густоміра, а об'єм зразків вимірювали як еквівалент об'єму води при 20°C. Для вимірювання показника заломлення використовувався Anton Paar-Abbemat 3100, тоді як Anton Paar-MCP 150 використовувався для аналізу оптичного обертання. Показник кислотності зразків визначали за допомогою методу титрування, описаного в ЕР. Усі експерименти проводили в трьох повторях, і результати представлені як середнє значення та стандартне відхилення з акцентом на фізичні та хімічні методи аналізу (наприклад, показник заломлення, густина та оптична активність) [17].

Висновки до розділу 3

Розглянуто основні методи аналізу ефірних олій (хроматографія, спектроскопічні методи, фізико-хімічні методи). Газова хроматографія та двовимірна газова хроматографія показали високу ефективність у розділенні складних компонентів та визначенні енантіомерної структури хіральних сполук, що дозволило провести точний аналіз ефірних олій лаванди, троянди дамаської та *Mentha spicata*, підтвердивши її ефективність у контролі якості та автентичності.

Використання модифікованих колонок з β -циклодекстрином забезпечує точне розділення фотоізомерів та визначення. Оптичний надлишок терпеноїдів, що особливо важливо для визначення географічного походження ефірних олій. Доведено, що інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є є ефективною для ідентифікації органічних і неорганічних сполук шляхом аналізу коливань хімічних зв'язків. Останні вдосконалення (спектроскопічні методи) в приладах FTIR значно підвищили чутливість і скоротили час підготовки зразків.

Для фізико-хімічних методів оцінювали відносну густину, показник заломлення, оптичне обертання та кислотне число. Відповідно до Європейських рекомендацій (EP), які забезпечили стандартизований підхід до аналізу ефірних олій. Вимірювання показника заломлення та оптичного обертання дало важливу інформацію про фізичні властивості та хімічний склад досліджуваних зразків.

Одним словом, хроматографічні, спектроскопічні, фізико-хімічні методи забезпечують комплексний аналіз ефірних олій, дозволяючи точно визначити склад, автентичність і якість продукту. Використання GC×GC та FTIR є особливо ефективним у виявленні енантімерних співвідношень і молекулярних відбитків сполук, що важливо у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості.

4. ВПЛИВ МЕТОДІВ ЕКСТРАКЦІЇ НА ЯКІСТЬ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

4.1. Порівняння виходу ефірних олій при різних методах екстракції

Ананасові шкірки є перспективним джерелом для отримання ефірних олій завдяки своїм характерним ароматичним сполукам. Для вивчення ефективності екстракції цієї олії було використано три різні методи: гідродистиляція (HD), гідродистиляція з допоміжним ферментом (HDEA) і екстракція надкритичною рідиною (SFE).

Розглянемо процес гідродистиляції (HD). При гідродистиляції досягається низький вихід ефірної олії 0,17% (маса/маса), з 0,64% бетону, водночас одержуючи гідрозоль 70,65%. Гідродистиляція з допомогою ферменту (HDEA) збільшує вихід гідрозолу до 80,65% без екстракції ефірної олії. Надкритична рідинна екстракція (SFE) перевершує попередні два методи завдяки своїй здатності руйнувати сальні залози, що призводить до ефективного вилучення ефірної олії. Ця олія в основному складається з етилового ефіру пропанової кислоти (40,25%), етилового ефіру молочної кислоти (19,35%) і 2-гептанолу (15,02%) [18].

У дослідженні *Rosmarinus officinalis* гідродистиляція за допомогою мікрохвиль (МАН) показала вищу ефективність, ніж звичайна гідродистиляція (CH) щодо скорочення часу екстракції та збільшення вмісту кисню на 1,14%, покращуючи якість олії [19]. У екстракції ефірної олії з *Schizonepeta tenuifolia* Briq., SFE продемонстрував перевагу над дистиляцією з водяною парою (SD) з точки зору стабільності та повторюваності [20]. Коли звичайна гідродистиляція (HD) порівнювалася з мікрохвильовою екстракцією без розчинників (SFME) при екстракції ефірних олій з куркуми, SFME показала більшу ефективність в економії енергії, скороченні часу екстракції та збільшенні виходу, на додаток до покращення антиоксидантних, тирозиназних і протиракових властивостей [21].

Результати показують, що традиційні методи є найпростішими та найменш дорогими, але вони мають ряд недоліків (втрата летючих сполук, вплив тепла на

стабільність деяких компонентів, високе споживання енергії) Дослідження показали, що екстракція з використанням субкритичних та надкритичних рідин є ефективним та екологічно чистим методом, оскільки забезпечує високу селективність та зберігає термочутливі сполуки. Також можна отримати високоякісні екстракти без залишків розчинників. Однак це вимагає використання спеціалізованого обладнання та високого тиску, що здорожує виробництво. Як зазначено в механічних методах (пресування), тиск ефективний для вилучення ефірних олій із шкірки, зберігаючи при цьому якість запаху. Холодне пресування дозволяє уникнути термічного розкладання сполук, але цей метод обмежений типами сировини та кількістю отриманої олії. Результати показали, що екстракція леткими розчинниками зберігає хімічний склад олій завдяки використанню низьких температур і селективних розчинників, але її застосування обмежене через високу вартість і складність очищення олії від залишків розчинників.

Сучасні методи, такі як мікрохвильова екстракція, є швидким і ефективним процесом безпосереднього нагрівання зразка, що зменшує витрати енергії та часу. Це також дозволяє уникнути використання додаткових розчинників або стабілізаторів для захисту термочутливих сполук. Ультразвукова екстракція заснована на явищі акустичної кавітації, яка покращує проникнення розчинника в клітинну структуру рослин, таким чином прискорюючи процес екстракції. Цей метод ефективний, енергозберігаючий і підходить для чутливих до тепла транспортних засобів [18-21].

4.2. Вплив температурного режиму на склад компонентів

Температура екстракції відіграє важливу роль у визначенні ефективності екстракції ефірної олії *C. Citronella*. Як показали результати, було вивчено вплив температур при 20, 25, 35 і 40 °C. Це пов'язано з тим, що підвищення температури призводить до зниження в'язкості надкритичної рідини та підвищення коефіцієнта дифузії, що посилює броунівський рух молекул ефірної

олії в *C. Citronella*. Це покращення молекулярної динаміки сприяє прискоренню масоперенесення та покращенню розчинності олії. Наприклад, при 35°C вихід олії досягав 4,2% (маса сировини). Варто зазначити, що високі температури можуть призвести до погіршення хімічних компонентів ефірної олії, що впливає на її якість і структуру. 32°C – 38°C прийнято як найкращий температурний діапазон під час процесу надкритичної екстракції (SFE) [22].

Теукріум поліум традиційно використовується для лікування розладів травлення, запалення, діабету та ревматизму завдяки своїм корисним терапевтичним властивостям. У цьому дослідженні основна увага була зосереджена на впливі різних температур на склад ефірних олій, витягнутих з надземних частин цієї рослини, щоб зрозуміти, як вони впливають на якість і хімічний склад олій [23].

Температурний режим здійснює неабиякий вплив на склад ефірних масел. Ефірні олії екстрагували з висушених на повітрі зразків за допомогою техніки гідродистиляції, а потім аналізували за допомогою газової хроматографії/мас-спектрометрії (ГХ/МС). Після цього олії зберігалися в різних умовах, включаючи: кімнатну температуру, холодильник, морозильну камеру. При кімнатній температурі спостерігалось значне зниження відсотка низькокиплячих сполук, таких як: цис-вербенол: зменшився з 2,11% до 1,78% Germacrene D зменшився з 1,56% до 0,94%. Це зниження пояснюється швидким випаровуванням і хімічним розкладанням, яке відбувається при високих температурах, що призводить до погіршення якості ефірної олії.

У холодильнику та морозильній камері швидкість хімічних змін була значно знижена, при цьому ефірна олія зберегла свою первинну якість завдяки уповільненню процесів окислення та термічного розкладання. За винятком деяких сполук, таких як: α -пінен/ β -пінен/лімонен, які показали незначні зміни через їхню чутливість до багаторазового заморожування та відтавання.

Результати показали, що температура відіграє вирішальну роль у збереженні складу та якості ефірних олій при низьких температурах (таких як холодильник і морозильна камера), і навпаки, кімнатна температура призводить

до значного зниження якості ефірних олій через швидке випаровування та хімічну реакцію летючих сполук [23].

Розглянемо порівняння різних методів сушіння шкірки бергамоту. Це дослідження зосереджено на впливі різних температур на ефективність семи методів сушіння шкірки бергамоту, а саме: сушіння гарячим повітрям, мікрохвильова піч, інфрачервона мікрохвильова піч, заморожування, інфрачервоне сушіння, сонячне сушіння та сушіння в печі. Усі зразки показали вміст води та рівень активності води в межах прийнятної діапазону для сухих харчових продуктів, і шкірку було успішно перетворено на дрібний порошок усіма методами. Однак вплив температури був вирішальним у визначенні складу біоактивних сполук і якості кінцевого продукту.

Результати показали, що дуже низькі температури (як при заморожуванні) краще зберігають чутливі до тепла сполуки, тоді як високі температури (як при інфрачервоному випромінюванні) підвищують концентрацію фенольних сполук і флавоноїдів завдяки реакціям окислення. Ліофільна сушка була найефективнішою для збереження біологічно активних сполук, а потім інфрачервона сушка для відновлення фенольних сполук важливі сполуки [24].

4.3. Збереження біологічно активних сполук при різних методах

Збереження біологічно активних сполук під час екстракції ефірних олій залежить від обраного методу екстракції. Різні методи мають свої переваги та недоліки щодо ефективності вилучення та збереження активних інгредієнтів.

Ультразвукова екстракція — це інноваційне рішення, яке перевершує звичайні методи в кількох аспектах і вважається одним із найефективніших методів збереження біологічно активних сполук. Цей метод заснований на використанні ультразвукового зонда, який генерує високочастотні звукові хвилі, що призводить до утворення кавітаційних бульбашок у розчиннику. Коли ці бульбашки згортаються, утворюється висока енергія, яка руйнує клітинні стінки рослин і ефективно вивільняє біоактивні сполуки.

Ультразвукова екстракція дозволяє екстрагувати сполуки за набагато коротший час, ніж замочування або фільтрація, завдяки енергії, що генерується кавітаційними бульбашками. Підвищення продуктивності: допомагає витягувати більшу кількість цільових сполук із рослинної сировини, збільшуючи вихід екстракту. Висока ефективність: потрібно менше розчинників, що знижує витрати та захищає навколишнє середовище.

Цей метод можна використовувати для вилучення широкого спектру гідрофільних і гідрофобних сполук, що робить його придатним для отримання екстрактів повного спектру. Метод не вимагає складного обладнання чи високого тиску, що знижує експлуатаційні витрати порівняно з надкритичною екстракцією CO₂ або екстракцією Сокслета. Також вимагає менше розчинників та енергії, зменшуючи відходи. Крім того, можна використовувати безпечні розчинники, такі як вода, етанол або етаноловий водний розчин [25].

Цей метод забезпечує сприятливе середовище для збереження біологічно активних сполук від деградації або окислення під час процесу екстракції, таким чином зберігаючи ефективність і якість екстракту. Ультразвукова екстракція також допомагає зберегти термочутливі сполуки завдяки низьким температурам, які використовуються під час процесу. У порівнянні з традиційними методами ультразвукова екстракція забезпечує вищу ефективність, нижчу вартість і кращі результати з точки зору якості екстракту [25].

Розглянемо більш детально метод мікрохвильової екстракції. Дослідження показали, що ця технологія не тільки підвищує вихід олії, але й покращує хімічний склад і функціональну активність видобутої олії порівняно з олією, видобутою звичайними методами. Це також скорочує час екстракції та зменшує необхідний об'єм розчинника. З іншого боку, цей метод забезпечує покращену окисну стабільність, таким чином подовжуючи термін зберігання. Дослідження показали, що олії, витягнуті цим методом, мають антиоксидантну здатність і покращений фенольний профіль. У цьому методі зразок піддається впливу неіонізуючих хвиль із частотою від 300 МГц до 300 ГГц. Ці хвилі створюють тепло всередині зразка та підвищують тиск у клітинах, змушуючи клітини

лопатися та вивільняти біологічно активні сполуки. Цей метод також відомий як мікрохвильова екстракція без розчинників (SFME), оскільки не використовуються розчинники.

Ще одним методом є екстракція рідини під тиском – удосконалена техніка екстракції, яка використовує суміш води та розчинників під високими температурами та тиском. Ця технологія є ефективною для вилучення активних сполук, таких як фенольні кислоти та флавоноїди, і забезпечує екстракти, багаті поліфенолами з антиоксидантними властивостями. Екстракція з використанням рідин під тиском є екологічно чистим, ефективним у часі та економічним методом, оскільки високий тиск дозволяє досягати температур вище точки кипіння розчинників без кип'ятіння розчинника, підвищуючи розчинність активних сполук у розчиннику.

Поширеним методом являється екстракція холодним пресом. Технологія холодного пресування здійснюється при низьких температурах і не вимагає використання розчинників або будь-яких додаткових обробок. Він характерний тим, що зберігає хімічний склад, багатий біологічно активними речовинами, забезпечуючи при цьому кращу окислювальну стабільність порівняно з екстракцією розчинником. Олії, отримані таким чином, мають високу якість і антиоксидантні властивості завдяки низьким температурам під час процесу.

Також у світі широко використовується надкритична флюїдна екстракція. У цьому випадку вуглекислий газ має здатність легко проникати в тверді клітини і витягувати сполуки з високою ефективністю. Отриманий газ може бути перероблений, не залишаючи жодних слідів у зразку. Цей метод забезпечує ефективні та стійкі результати без шкоди для навколишнього середовища.

Ще одним методом являється ферментна екстракція. Цей метод використовує переваги використання ферментів для руйнування клітинних стінок і вивільнення біологічно активних сполук. Ця технологія забезпечує каталітичну ефективність у помірних водних середовищах і за низьких витрат. Це також покращує такі властивості екстрактів, як антиоксидантна активність порівняно з традиційними методами.

I, нарешті, останнім найпоширенішим методом є екстракція імпульсного електричного поля. Ця техніка використовує переваги імпульсного електричного поля для підвищення проникності клітинних стінок і покращення розчинності та дифузії активних сполук у розчиннику. Ця технологія підвищує окислювальну стійкість олій і збільшує термін їх зберігання, забезпечуючи кращі антиоксидантні властивості [26].

Висновки до розділу 4

Результати дослідження показали, що методи екстракції мають значний вплив на продуктивність і хімічний склад олії. Серед традиційних методів найбільш економічними і доступними є гідродистиляція і гідродистиляція з ферментами, однак вони мають обмеження у вигляді великих енергетичних витрат і впливу тепла, що може вплинути на стабільність деяких сполук.

Надкритична рідинна екстракція (SFE) показала значні переваги завдяки своїй здатності ефективно руйнувати клітинні стінки та витягувати ефірні олії, зберігаючи їх високу якість. Однак його використання вимагає спеціального обладнання та високого тиску, що здорожує процес. При цьому методи, які не вимагають високих температур і розчинників, такі як холодне пресування і ультразвукова екстракція, зберігають біологічно активні компоненти і мають менший вплив на навколишнє середовище. Температурний режим також має великий вплив на склад компонентів ефірної олії. Підвищення температури може прискорити процес екстракції, але в той же час це може спричинити розкладання термочутливих сполук. Оптимальні температури, такі як 32-38°C під час надкритичної екстракції, допомагають підтримувати якість олії.

Загалом для збереження високої якості ефірних олій та біологічно активних сполук перспективними є методи з використанням ультразвуку, мікрохвиль, а також холодного пресування та надкритичних рідин. Дослідження показали, що кожен метод має свої переваги в залежності від необхідності ефективності видобутку, економічності та екологічності.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження теоретичних основ виділення ефірних олій та проведений історичний огляд показали, що термін «ефірна олія» вперше з'явився в 16 столітті, натхненний концепцією «Quinta essentia», введеною німецько-швейцарським вченим і лікарем Парацельсом (1493-1541), відомим під повним іменем Теофраст Філіпп Ауреолус Бомбастус фон Гогенхайм. Ефірні олії являються природними маслянистими рідинами з характерним запахом, які утворюються рослинами і відповідають за їхній унікальний аромат. Науковці та вчені різних країн, такі як Ніколас Дж. Садгроув (Велика Британія) Дж. Т. Ремсі, Б. С. Шропшир, Т. Р. Надь (Сполучені Штати Америки), Віссал Діфі, Сана Беллілі, Сабрін Джазі (Саудівська Аравія) демонструють важливість досліджень у сфері екстракції та аналізу ефірних олій для розширення можливостей їх використання в різних галузях промисловості та медицини. Українські вчені, такі як Коваленко О. А., Славинський Р. Л., Рубанка К. В. також роблять вагомий внесок у розвиток технологій виділення ефірних олій, що сприяє підвищенню їхньої конкурентоспроможності на світовому ринку.

2. Ефірні олії формуються в різних частинах рослин і можуть бути отримані через різноманітні біохімічні процеси. У хвойних рослин (Pinophyta, Pinopsida) олії часто містять терпени та інші леткі сполуки, що надають їм характерного аромату. У пелюстках троянд (Rosa L.) ефірні олії накопичуються в залозистих клітинах епідермісу, що надає їм дуже виразний аромат. У корі та листі кориці (Cinnamomum verum) присутній коричневий альдегід, що забезпечує специфічний запах. У плодах рослин родини селерових (Apiaceae) ефірні олії знаходяться в навколопліднику. У м'яті (Mentha) ефірні олії містяться у залозках на стеблах і листьях, основним компонентом яких є ментол, що забезпечує охолоджуючий ефект і характерний запах. У цитрусових рослин (Citreae) ефірні олії утворюються як у пелюстках квіток, так і в шкірці плодів, де лимонен та інші леткі сполуки створюють характерний цитрусовий аромат.

3. Проведений порівняльний аналіз методів виділення рослинних олій показав, що субкритична та надкритична рідинна екстракція є ефективним і екологічно чистим методом завдяки високій селективності та збереженню термочутливих сполук. Такий підхід дозволяє отримувати високоякісні екстракти без залишків розчинників, проте вимагає спеціалізованого обладнання та високого тиску, що робить виробництво дорогим. З механічних методів (пресування) тиск ефективний для вилучення ефірних олій зі шкірки, зберігаючи якість аромату. Холодне пресування запобігає термічному розкладу сполук, але обмежується типами сировини та кількістю отриманої олії. Леткосольвентна екстракція зберігає хімічний склад олій завдяки низьким температурам і селективним розчинникам, однак її застосування обмежується високою вартістю і складністю видалення залишків розчинників.

4. Під час порівняння методів аналізу властивостей ефірних олій було розглянуто хроматографічні, спектроскопічні, фізико-хімічні методи аналізу. Дані методи забезпечують комплексний аналіз ефірних олій, дозволяючи точно визначити склад, автентичність і якість продукту. Використання GC×GC та FTIR є особливо ефективним у виявленні енантімерних співвідношень і молекулярних відбитків сполук, що важливо у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості.

5. Проведена оцінка впливу методів екстракції на якість кінцевого продукту демонструє, що різні методи екстракції значно впливають на продуктивність і хімічний склад олій. Традиційні методи, такі як гідродистиляція та гідродистиляція з ферментами, є найекономічнішими та доступними, але їх недоліком є високі енергетичні витрати та вплив тепла, що може знижувати стабільність певних сполук. Щоб забезпечити високу якість ефірних олій та біологічно активних сполук, перспективними є методи з ультразвуковою екстракцією, мікрохвильовим методом, холодним пресуванням та використанням надкритичних рідин. Кожен із цих методів має свої переваги залежно від вимог до ефективності видобутку, економічності та екологічності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. de Sousa DP, Damasceno ROS, Amorati R, Elshabrawy HA, de Castro RD, Bezerra DP, Nunes VRV, Gomes RC, Lima TC. Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities. *Biomolecules*. 2023 Jul 18;13(7):1144. doi: 10.3390/biom13071144. PMID: 37509180; PMCID: PMC10377445.
2. Sattayakhom A, Wichit S, Koomhin P. The Effects of Essential Oils on the Nervous System: A Scoping Review. *Molecules*. 2023 Apr 27;28(9):3771. doi: 10.3390/molecules28093771. PMID: 37175176; PMCID: PMC10180368.
3. Фармакогнозія_2015 (1).pdf
4. Sadgeove N. J. Fundamental Chemistry of Essential Oils and Volatile Organic Compounds, Methods of Analysis and Authentication [Електронний ресурс] / N. J. Sadgrove, G. F. Padilla-González, M. Phumthum // *Plants*. – 2022. - № 11(6). – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/plants11060789>
5. Essential Oils and Health / J. T. Ramsey, B. C. Shropshire, T. R. Nagy et al. // *Yale J Biol Med*. – 2020. - № 93(2). – P. 291-305.
6. Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review / W. Dhifi, S. Bellili, S. Jazi et al. // *Medicines (Basel)*. – 2016. - № 3(4). doi: 10.3390/medicines3040025
7. Коваленко О. А. Інноваційні методи виробництва ефірних олій. *Scientific Works*. 2024. №1. С. 149-155.
8. Славинський Р. Л. Експериментальне моделювання процесів екстрагування ефірних олій у мікрохвильовому полі. *Scientific Works*. 2023. №1 (87). С. 109-116.
9. Рубанка К. В. Корнілова А. С., ультрозвукова екстракція ефірних олій: огляд.
10. Bolouri P, Salami R, Kouhi S, Kordi M, Asgari Lajayer B, Hadian J, Astatkie T. Applications of Essential Oils and Plant Extracts in Different Industries. *Molecules*. 2022 Dec 16;27(24):8999. doi: 10.3390/molecules27248999. PMID: 36558132; PMCID: PMC9781695.

11. Mucha W, Witkowska D. The Applicability of Essential Oils in Different Stages of Production of Animal-Based Foods. *Molecules*. 2021 Jun 22;26(13):3798. doi: 10.3390/molecules26133798. PMID: 34206449; PMCID: PMC8270267.
12. Dobros N, Zawada KD, Paradowska K. Phytochemical Profiling, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Plants Belonging to the *Lavandula* Genus. *Molecules*. 2022 Dec 28;28(1):256. doi: 10.3390/molecules28010256. PMID: 36615453; PMCID: PMC9821988.
13. Dashtian K, Kamalabadi M, Ghoorchian A, Ganjali MR, Rahimi-Nasrabadi M. Integrated supercritical fluid extraction of essential oils. *J Chromatogr A*. 2024 Sep 27;1733:465240. doi: 10.1016/j.chroma.2024.465240. Epub 2024 Aug 7. PMID: 39154494.
14. Knez Hrnčič, Maša, Darija Cör, Jana Simonovska, Željko Knez, Zoran Kavrakovski, and Vesna Rafajlovska. 2020. "Extraction Techniques and Analytical Methods for Characterization of Active Compounds in *Origanum* Species" *Molecules* 25, no. 20: 4735. <https://doi.org/10.3390/molecules25204735>
15. Tadić V, Božović M, Sapienza F, Astolfi R, Mladenović M, Zaka MC, Del Bove F, Borzacchi F, Fraschetti C, Rossi C, Vertuani S, Baldisserotto A, Manfredini S, Ragno R. Chemical Composition and Anti-Candida Activity of *Mentha suaveolens* Ehrh. Essential Oils Obtained by Different Distillation Processes. *Molecules*. 2023 Oct 4;28(19):6934. doi: 10.3390/molecules28196934. PMID: 37836777; PMCID: PMC10574099.
16. Dimić I, Pavlić B, Rakita S, Cvetanović Kljakić A, Zeković Z, Teslić N. Isolation of Cherry Seed Oil Using Conventional Techniques and Supercritical Fluid Extraction. *Foods*. 2022 Dec 20;12(1):11. doi: 10.3390/foods12010011. PMID: 36613227; PMCID: PMC9818375.
17. Pogorzelska-Nowicka E, Hanula M, Pogorzelski G. Extraction of polyphenols and essential oils from herbs with green extraction methods - An insightful review. *Food Chem*. 2024 Dec 1;460(Pt 1):140456. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140456. Epub 2024 Jul 15. PMID: 39084104.

18. Cagliero C, Bicchi C, Marengo A, Rubiolo P, Sgorbini B. Gas chromatography of essential oil: State-of-the-art, recent advances, and perspectives. *J Sep Sci*. 2022 Jan;45(1):94-112. doi: 10.1002/jssc.202100681. PMID: 34897986.

19. Krupčík J, Gorovenko R, Špánik I, Armstrong DW, Sandra P. Enantioselective comprehensive two-dimensional gas chromatography of lavender essential oil. *J Sep Sci*. 2016 Dec;39(24):4765-4772. doi: 10.1002/jssc.201600986. Epub 2016 Nov 18. PMID: 27774742.

20. Krupčík J, Gorovenko R, Špánik I, Sandra P, Armstrong DW. Enantioselective comprehensive two-dimensional gas chromatography. A route to elucidate the authenticity and origin of *Rosa damascena* Miller essential oils. *J Sep Sci*. 2015 Oct;38(19):3397-403. doi: 10.1002/jssc.201500744. PMID: 26235111.

21. Pragadheesh VS, Yadav A, Chanotiya CS. Role of substituents in cyclodextrin derivatives for enantioselective gas chromatographic separation of chiral terpenoids in the essential oils of *Mentha spicata*. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 2015 Oct 1;1002:30-41. doi: 10.1016/j.jchromb.2015.07.034. Epub 2015 Aug 5. PMID: 26310896.

22. Pasieczna-Patkowska, Sylwia, Marcin Cichy, and Jolanta Flieger. 2025. "Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles" *Molecules* 30, no. 3: 684. <https://doi.org/10.3390/molecules30030684>

23. Barak TH, Bölükbaş E, Bardakcı H. Evaluation of Marketed Rosemary Essential Oils (*Rosmarinus officinalis* L.) in Terms of European Pharmacopoeia 10.0 Criteria. *Turk J Pharm Sci*. 2023 Aug 22;20(4):253-260. doi: 10.4274/tjps.galenos.2022.78010. PMID: 37606010; PMCID: PMC10445223.

24. Mohamad N, Ramli N, Abd-Aziz S, Ibrahim MF. Comparison of hydro-distillation, hydro-distillation with enzyme-assisted and supercritical fluid for the extraction of essential oil from pineapple peels. *3 Biotech*. 2019 Jun;9(6):234. doi: 10.1007/s13205-019-1767-8. Epub 2019 May 25. PMID: 31139549; PMCID: PMC6535152.

25. Elyemni M, Louaste B, Nechad I, Elkamli T, Bouia A, Taleb M, Chaouch M, Eloutassi N. Extraction of Essential Oils of *Rosmarinus officinalis* L. by Two Different Methods: Hydrodistillation and Microwave Assisted Hydrodistillation. *ScientificWorldJournal*. 2019 Apr 1;2019:3659432. doi: 10.1155/2019/3659432. PMID: 31057339; PMCID: PMC6463580.

26. Qiu Q, Ling J, Ding Y, Chang H, Wang J, Liu T. [Comparison of supercritical fluid extraction and steam distillation methods for the extraction of essential oils from *Schizonepeta tenuifolia* Briq]. *Se Pu*. 2005 Nov;23(6):646-50. Chinese. PMID: 16498998.

27. Mohanty S, Ray A, Naik PK, Sahoo A, Jena S, Das PK, Patnaik J, Panda PC, Nayak S. Variation in Yield, Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oil of Three *Curcuma* Species: A Comparative Evaluation of Hydrodistillation and Solvent-Free Microwave Extraction Methods. *Molecules*. 2023 May 30;28(11):4434. doi: 10.3390/molecules28114434. PMID: 37298910; PMCID: PMC10254477.

28. Wu H, Li J, Jia Y, Xiao Z, Li P, Xie Y, Zhang A, Liu R, Ren Z, Zhao M, Zeng C, Li C. Essential Oil Extracted from *Cymbopogon citronella* Leaves by Supercritical Carbon Dioxide: Antioxidant and Antimicrobial Activities. *J Anal Methods Chem*. 2019 Jan 2;2019:8192439. doi: 10.1155/2019/8192439. PMID: 30719374; PMCID: PMC6334621.

29. Farahbakhsh J, Najafian S, HosseiniFarahi M, Gholipour S. The effect of time and temperature on shelf life of essential oil composition of *Teucrium polium* L. *Nat Prod Res*. 2022 Jan;36(1):424-428. doi: 10.1080/14786419.2020.1771711. Epub 2020 Jun 5. PMID: 32498558.

30. Demircan B, Velioglu YS, Giuffrè AM. Comparison of different drying methods for bergamot peel: Chemical and physicochemical properties. *J Food Sci*. 2024 Mar;89(3):1498-1516. doi: 10.1111/1750-3841.16944. Epub 2024 Feb 5. PMID: 38317407.

31. Hielscher Ultrasonics. (n.d.). Most efficient method for botanical extracts. Retrieved February 5, 2025, from <https://www.hielscher.com/uk/most-efficient-botanical-extracts.htm>.

32. Rahim MA, Ayub H, Sehrish A, Ambreen S, Khan FA, Itrat N, Nazir A, Shoukat A, Shoukat A, Ejaz A, Özogul F, Bartkiene E, Rocha JM. Essential Components from Plant Source Oils: A Review on Extraction, Detection, Identification, and Quantification. *Molecules*. 2023 Sep 29;28(19):6881. doi: 10.3390/molecules28196881. PMID: 37836725; PMCID: PMC10574037.

SUMMARY

This research is dedicated to the study of modern methods of extraction and analysis of essential oils, with a focus on comparing different extraction techniques and their impact on the quality of the final product. The relevance of the research is determined by the growing demand for essential oils in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries, as well as the need to improve extraction efficiency and environmental safety.

The research provides a comparative analysis of traditional and modern extraction methods, including hydrodistillation, steam distillation, solvent extraction, supercritical fluid extraction (SFE), and ultrasonic-assisted extraction. Each method is evaluated based on key parameters such as yield, chemical composition preservation, environmental impact, and economic feasibility. The qualitative and quantitative composition of the extracted essential oils was analyzed using gas chromatography (GC), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and spectrophotometry. The impact of various extraction conditions, such as temperature, pressure, and processing time, was assessed to determine optimal parameters for maximizing product quality.

The novelty of the study lies in the comprehensive comparison of different extraction techniques and the identification of the most effective and eco-friendly methods. The findings highlight the advantages of advanced extraction technologies in enhancing oil purity and yield while reducing environmental impact. The practical significance of this research is its potential application in optimizing essential oil production for various industries. The results can contribute to improving industrial extraction technologies, ensuring higher product quality, and promoting sustainable manufacturing practices.

KEYWORDS: methods of extraction, hydrodistillation, spectrophotometry, solvent extraction, pharmaceutical.