

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

«До захисту в ЕК»

Директор інституту ННІХТ

Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

«__»

2025р.

«__»

2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів

на тему: Розробка технології отримання та застосування СО₂-екстракту люцерни

Виконав: здобувач(ка) 2 курсу, групи ЗХТ-2-1М

НАГОЛЮК Михайло Васильович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник БАХМАЧ Володимир Олександрович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

(підпис)

Олег КРОНІКОВСЬКИЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітньо-професійна програма Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО
“ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА** **НАГОЛЮКА Михайла Васильовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології отримання та застосування CO₂-екстракту люцерни

керівник роботи к.т.н., доцент, Бахмач Володимир Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10” 10 2025 року № 833-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи розробити технологію отримання CO₂-екстракту з люцерни та дослідити показники якості ---

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, об'єкти та методи досліджень, експериментальна частина, технологічна частина, розрахунок економічної ефективності, охорона навколишнього середовища, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	10.10.2025	
2	РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	10.10.2025-10.10.2025	
3	РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	13.10.2025-15.10.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	15.10.2025-23.10.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23.10.2025-31.10.2025	
6	РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	01.11.2025-03.11.2025	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	04.11.2025-21.11.2025	
8	РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ	07.11.2025-10.11.2025	
9	ВИСНОВКИ	11.11.2025-15.11.2025	
10	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	16.11.2025-17.11.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	18.11.2025-21.11.2025	
12	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	21.11.2025-24.11.2025	
13	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	25.11.2025-01.12.2025	

Здобувач _____
(підпис)

Михайло НАГОЛЮК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Володимир БАХМАЧ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Наголюк М.В. Розробка технології отримання та застосування СО₂-екстракту люцерни

Пояснювальна записка: 100 с., 64 рис., 16 табл., 30 літературних джерел.

Графічний матеріал: 2 креслення формату А-1.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню технології отримання екстракту люцерни (*Medicago sativa* L.) методом надкритичної СО₂-екстракції та обґрунтуванню можливостей його використання як природної функціональної добавки у рецептурі майонезу. Актуальність теми зумовлена потребою харчової промисловості в натуральних інгредієнтах, здатних підвищувати харчову та біологічну цінність продукції, а також покращувати її стабільність без застосування синтетичних добавок.

Метою роботи є оптимізація параметрів надкритичної СО₂-екстракції люцерни, вивчення органолептичних та фізико-хімічних властивостей отриманого екстракту, його антиоксидантної активності та оцінка можливості використання у виробництві емульсійних продуктів, зокрема майонезу. У роботі наведено хімічну характеристику сировини, результати визначення вмісту хлорофілу, флавоноїдів, сапонінів та інших БАР, проаналізовано токсикологічні показники.

Практична значимість роботи полягає у можливості впровадження СО₂-екстракту люцерни як природної функціональної та антиоксидантної добавки для емульсійних продуктів зокрема майонезу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛЮЦЕРНА, СО₂-ЕКСТРАКЦІЯ, GMP, ХЛОРОФІЛ, ФЛАВОНОЇДИ, БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ.

ABSTRACT

Naholiuk M.V. Devel Development of technology for obtaining and applying CO₂ extract of alfalfa.

Explanatory note: 100 pages, 6 figures, 16 tables, 30 literature sources.

Graphic material: 2 drawings.

The master's thesis focuses on the development of a supercritical CO₂ extraction technology for obtaining alfalfa (*Medicago sativa* L.) extract and on the assessment of its applicability as a natural functional ingredient for mayonnaise formulations. The relevance of the study is driven by the growing demand in the food industry for safe, natural additives capable of improving product quality and oxidative stability.

The aim of the research is to optimize extraction conditions, evaluate physicochemical and biological properties of the extract, and determine its effect on the stability and sensory characteristics of mayonnaise. The work includes analysis of bioactive compounds, antioxidant activity, and toxicological safety indicators.

The study demonstrates that CO₂ alfalfa extract enhances the antioxidant protection of mayonnaise, reduces lipid oxidation, and can be used as a natural ingredient to improve the quality and shelf-life of emulsified food products.

KEYWORDS ALFALFA, CO₂ EXTRACTION, GMP, CHLOROPHYLL, FLAVONOIDS, BIOACTIVE COMPOUNDS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 Аналітичний огляд науково-технічної літератури	12
1.1 Біологічна характеристика рослини люцерна (<i>Medicago sativa</i>)	12
1.2 Хімічний склад люцерни та її біологічно активних компонентів ...	13
1.3 Фармакологічні та функціональні властивості екстракту люцерни.	16
1.4 Огляд традиційних методів екстракції рослинної сировини	17
1.5 Сучасні інноваційні технології екстракції рослинної сировини.....	19
1.6 Порівняльний аналіз ефективності традиційних та інноваційних методів екстракції	21
1.7 Обґрунтування вибору надкритичної CO ₂ -екстракції для люцерни	22
1.8 Стан ринку натуральних екстрактів та перспективи використання екстракту люцерни.....	23
РОЗДІЛ 2 Об'єкти та методи дослідження	25
2.1 Фізичні та фізико-хімічні методи аналізу	25
2.2 Методи відділення	27
2.3 Якісні виявлення харчових добавок в пробі	31
2.4 Сенсорна характеристика CO ₂ -екстракту люцерни.....	33
2.5 Фотометричне визначення харчових добавок	36
2.6 Спектрофотометричні методи визначення.....	40
2.7 Полярографічні методи	43
2.8 Амперметричні методи	46
2.9 Інші методи визначення компонентів в екстрактах рослин та харчових добавках.....	50
РОЗДІЛ 3 Експериментальна частина	53

3.1	Рецептура екстракту люцерни	54
3.2	Підготовка проби	54
3.3	Інноваційність і екологічні переваги технології.....	59
РОЗДІЛ 4 Технологічна частина		60
4.1	Хімізм процесу екстракції.....	61
4.2	Математичне моделювання процесу екстракції	63
4.3	Опис принципової схеми виробництва CO ₂ -екстракту люцерни.....	66
4.5	Підбір основного технологічного обладнання	70
4.6	Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва CO ₂ екстракту люцерни.....	73
4.7	Контроль якості готової продукції.....	76
РОЗДІЛ 5 Охорона навколишнього середовища		78
РОЗДІЛ 6 Охорона праці		81
6.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	81
6.2	Заходи безпеки під час експлуатації обладнання.....	83
6.3	Санітарно-гігієнічні умови праці	84
6.4	Вимоги до виробничих приміщень і планування	86
ВИСНОВКИ.....		93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		94
Додаток А.....		94
Додаток Б		99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БАР – біологічно активні речовини

CO₂ – діоксид вуглецю

SFE – Supercritical Fluid Extraction, надкритична флюїдна екстракція

SC-CO₂ – надкритичний діоксид вуглецю

GMP – Good Manufacturing Practice, належна виробнича практика

GDP – Good Documentation Practice, належна документальна практика

SOP – Standard Operating Procedures, стандартні операційні процедури

HPLC – High-Performance Liquid Chromatography, високоефективна рідинна хроматографія

GC-MS – Gas Chromatography – Mass Spectrometry, газова хроматографія з мас-спектрометрією

UV-Vis – ультрафіолетова та видима спектроскопія

IR – інфрачервона спектроскопія

NMR – Nuclear Magnetic Resonance, ядерний магнітний резонанс

TGA – Thermogravimetric Analysis, термогравіметричний аналіз

FTIR – Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, інфрачервона спектроскопія Фур'є

LD₅₀ – середня летальна доза

ТшХ (TLC) – тонкошарова хроматографія

pH – водневий показник

мг/г – міліграм на грам

мг КОН/г – кислотне число (мг гідроксиду калію на 1 г речовини)

°C – градуси Цельсія

МПа – мегапаскаль

об/хв – оберти за хвилину

мкг/мл – мікрограм на мілілітр

БАР – біологічно активні речовини

АФІ – активні фармацевтичні інгредієнти

QC – Quality Control, контроль якості

QA – Quality Assurance, система забезпечення якості

ISO – International Organization for Standardization

EFSA – European Food Safety Authority, Європейське агентство з безпечності харчових продуктів

FDA – Food and Drug Administration, Управління з контролю якості харчових продуктів і ліків (США)

ВСТУП

У сучасній харчовій та косметичній промисловості зростає потреба у натуральних інгредієнтах, отриманих із рослинної сировини передовими екологічно безпечними технологіями. Споживачі дедалі частіше віддають перевагу продуктам, виробленим без використання хімічних розчинників, із доведеною біологічною активністю та стабільністю. Це зумовлює активний інтерес до таких рослин, як люцерна (*Medicago sativa* L.), що містить значну кількість цінних біологічно активних речовин: хлорофіл, флавоноїди, сапоніни, фенольні сполуки, вітаміни та мінерали.

За даними міжнародних регуляторних органів (EFSA, FDA), люцерна належить до рослин з низькою токсичністю, а її основні компоненти — хлорофіл, флавоноїди та сапоніни — є дозволеними до використання у харчових продуктах та косметиці. LD₅₀ для екстрактів люцерни понад 5 г/кг маси тіла (орально), що класифікує продукт як малотоксичний. EFSA встановлює відсутність токсикологічно значимих ризиків за умови дотримання концентрацій природних фітоестрогенів, що є характерними лише для надмірно концентрованих витяжок. Надкритична CO₂-екстракція зберігає лише жиророзчинні фракції (хлорофіл, каротиноїди, фітостероли), не концентруючи потенційно небажані водорозчинні метаболіти. У сучасній харчовій галузі особлива увага приділяється створенню безпечних та функціональних майонезних соусів, стійких до окислення та здатних зберігати якість протягом тривалого зберігання. Одним з перспективних напрямів є використання рослинних екстрактів з антиоксидантною активністю. CO₂-екстракт люцерни, завдяки високому вмісту хлорофілу, флавоноїдів і сапонінів, може виступати природним стабілізатором жирової фази та покращувати органолептичні властивості майонезу, що обґрунтовує вибір теми даної роботи.

Актуальність роботи визначається потребою у створенні інноваційної, безпечної та екологічної технології виробництва екстракту люцерни, що відповідає стандартам GMP і може бути впроваджена на сучасних підприємствах. Надкритична CO₂-екстракція забезпечує отримання

високоякісного продукту без залишків розчинників і з максимальним збереженням біологічної активності. Це робить екстракт перспективним компонентом для функціональних харчових продуктів, біологічно активних добавок, дерматологічних і косметичних засобів.

Метою роботи є розроблення інноваційної технології отримання CO₂-екстракту люцерни відповідно до принципів GMP, дослідження його фізико-хімічних властивостей, безпеки та можливостей застосування.

Для досягнення мети необхідне вирішення наступних завдань:

- Здійснити аналітичний огляд літературних джерел щодо методів екстракції біологічно активних речовин із рослинної сировини, зокрема із люцерни, та сучасних технологій CO₂-екстракції.
- Розробити технологію отримання CO₂-екстракту люцерни та дослідити склад та біологічну активність отриманого екстракту,
- Оцінити органолептичні та фізико-хімічні показники екстракту та продуктів, у які він буде введений (харчові або косметичні системи).
- Розробити апаратурно-технологічну схему процесу CO₂-екстракції люцерни та підібрати комплект обладнання для промислової реалізації технології.

Об'єктом роботи є технологія отримання CO₂-екстракту з рослинної сировини люцерни.

Предметом роботи є CO₂-екстракт люцерни, характеристики та властивості екстракту.

Апробація роботи. Михайло Мілюкін, Михайло Наголюк. Екстракт люцерни – характеристика та застосування в косметичній галузі. 91 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 7–11 квітня 2025 р. – Київ: НУХТ. с 275

Робота виконана під науковим керівництвом д.х.н. професора Михайла Мілюкіна, який, на жаль, пішов із життя.

Михайло Васильович Мілюкін — відомий український хімік-технолог, доктор хімічних наук, професор НУХТ, який зробив значний внесок у розвиток харчових технологій та аналітичної хімії.

РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд науково-технічної літератури

1.1 Біологічна характеристика рослини люцерна (*Medicago sativa*)

Люцерна (лат. *Medicago sativa* L.) — багаторічна трава родини бобових, одна з найцінніших кормових та промислових культур. Її культивують понад 2500 років, і вона вважається однією з найдавніших рослин, яку людина почала цілеспрямовано вирощувати для отримання біологічно активних речовин. Сучасні дослідження підтверджують, що люцерна має винятковий хімічний склад, який робить її універсальною сировиною для харчової, фармацевтичної, косметичної та біотехнологічної промисловості.

Біологічна цінність люцерни визначається поєднанням макро- і мікронутрієнтів, а також комплексу вторинних метаболітів. До них належать флавоноїди, кумарини, сапоніни, амінокислоти, хлорофіл, вітаміни та мінеральні речовини. Рослина зберігає стабільно високий рівень цих речовин на різних фазах росту, але максимальна концентрація біологічно активних компонентів спостерігається у фазі бутонізації, що підтверджується сучасними агробіологічними дослідженнями.

Люцерна має добре розвинену кореневу систему, яка забезпечує накопичення не лише органічних сполук, але й мінералів, що підвищує її поживну та лікувальну цінність. Завдяки симбіозу з азотфіксуючими бактеріями люцерна накопичує значну кількість амонійного азоту, що пояснює високий рівень білків та амінокислот у рослині. Саме ці властивості роблять люцерну перспективним джерелом природних антиоксидантів та функціональних інгредієнтів.

У біохімічному аспекті люцерна — одна з небагатьох кормових рослин, що містить повний спектр вітамінів групи В, вітамін К₁, значні концентрації кальцію, заліза, калію, магнію, фосфору та ряду мікроелементів. Виявлено також понад 30 видів флавоноїдних сполук, зокрема апігенін, кверцетин, лютеолін, кемпферол та їх глікозиди. Хлорофіл, який надає зеленого забарвлення рослині, є важливим біоактивним компонентом із вираженою антиоксидантною дією.

Окрім зрілих рослин, цінним джерелом поживних речовин є також проростки люцерни. У них вміст вітамінів і флавоноїдів може бути у 2–3 рази вищим, ніж у дорослих рослин, що зумовлено інтенсивними метаболічними процесами.

Сировина для отримання екстракту, як правило, включає листя та молоді стебла рослини, зібрані на початку бутонізації. Саме на цій стадії спостерігається найвищий вміст хлорофілу та антиоксидантів — ключових компонентів для харчових і косметичних продуктів.

Таким чином, люцерна *Medicago sativa* є унікальною рослинною сировиною, яка поєднує високу біологічну цінність, доступність, екологічну чистоту та можливість отримання широкого спектра екстрактів із різною цільовою дією.

1.2 Хімічний склад люцерни та її біологічно активних компонентів

Хімічний склад люцерни зумовлює її багатофункціональність та широке застосування у виробництві харчових, косметичних і лікувально-профілактичних засобів. До основних груп біологічно активних речовин, що містяться у люцерні, належать:

Флавоноїди

Це одна з ключових груп сполук, відповідальних за антиоксидантну активність екстракту. У люцерні містяться:

- кверцетин,
- апігенін,
- лютеолін,
- кемпферол,
- їх глікозиди.

Флавоноїди відіграють важливу роль у нейтралізації вільних радикалів, зміцненні стінок судин та зниженні запальних процесів. Вони є цінними компонентами при створенні антиоксидантних косметичних засобів і функціональних добавок.

Сапоніни

Люцерна багата на тритерпенові сапоніни, які мають поверхнево-активні властивості, здатність зв'язувати холестерин, проявляти протизапальну та імуномодулюючу дію. Сапоніни важливі як емульгатори в косметології та як функціональні компоненти у харчовій промисловості.

Хлорофіл

Хлорофіл — пігмент, який надає рослині зелене забарвлення. Він відомий своїми:

- антиоксидантними властивостями,
- здатністю прискорювати регенерацію тканин,
- детоксикаційною дією,
- антибактеріальними властивостями.

Екстракти з високим вмістом хлорофілу особливо цінуються в косметичних формулах для відновлення, загоєння та поліпшення стану шкіри.

Продовження 1.2. Хімічний склад люцерни та її біологічно активних компонентів

Вітаміни

Люцерна є одним із найкращих природних джерел вітамінів. Найбільше у рослині міститься:

- вітаміну К₁ (філохінон) — до 800–900 мкг/100 г, що робить люцерну надзвичайно цінною для судинної системи та процесів згортання крові;
- вітамінів групи В: В₁, В₂, В₆, В₁₂ — сприяють нормалізації обміну речовин і нервової системи;
- вітаміну С (до 25–30 мг/100 г у свіжій масі) — природний антиоксидант;
- вітаміну Е — жиророзчинний антиоксидант, що підтримує стан шкіри.

Комбінація цих вітамінів робить екстракт люцерни перспективним компонентом дієтичних добавок та омолоджувальної косметики.

Мінеральні речовини

Люцерна містить широкий спектр макро- та мікроелементів:

- Калій
- Кальцій
- Магній
- Фосфор
- Залізо
- Мідь
- Марганець
- Цинк

Кальцію та калію у рослині більше, ніж у молоці, що робить її одним із найпоживніших рослинних джерел мінералів.

Амінокислоти

Люцерна містить понад 20 амінокислот, серед яких:

- лізин,
- триптофан,
- метіонін,
- аргінін.
- Частина з них є незамінними, тобто не синтезуються організмом людини.
- Вторинні метаболіти
- Крім основних груп сполук, у люцерні присутні:
 - кумарини (антикоагулянтні властивості),
 - фенольні кислоти,
 - каротиноїди,
 - фітостероли.

Ці компоненти сприяють антиоксидантній, протимікробній і регенеративній дії екстракту.

Підсумок щодо хімічного складу

Багатий склад люцерни обумовлює її підвищену цінність у виробництві харчових добавок, косметичних засобів та фітопрепаратів. Наявність хлорофілу, сапонінів, флавоноїдів і вітамінів робить екстракт універсальним натуральним інгредієнтом із широким спектром функціональної дії.

1.3 Фармакологічні та функціональні властивості екстракту люцерни

Завдяки поєднанню біологічно активних речовин екстракт люцерни демонструє комплексну дію на організм людини. Наукові дослідження підтверджують такі основні властивості:

Антиоксидантна дія

Флавоноїди, фенольні кислоти та хлорофіл ефективно нейтралізують вільні радикали. Антиоксидантна активність екстракту люцерни порівняна з активністю зеленого чаю та виноградних кісточок. Це дозволяє застосовувати екстракт у косметиці проти старіння та у дієтичних добавках для підтримки імунітету.

Протизапальна та загоювальна дія

Сапоніни та хлорофіл знижують запальні процеси та сприяють регенерації тканин. Тому екстракт люцерни входить до складу кремів для чутливої, подразненої та проблемної шкіри.

Антибактеріальні властивості

Рослинні феноли та сапоніни проявляють бактеріостатичну дію проти ряду грампозитивних бактерій. Це важливо для косметичних формул природного походження та для харчових продуктів, де потрібен природний антимікробний компонент.

Детоксикаційна дія

Хлорофіл активно зв'язує токсини, солі важких металів та сприяє їх виведенню з організму. У косметології ця властивість використовується для очищення шкіри та нормалізації її стану.

Імуномодулювальна дія

Вітаміни та мінерали люцерни підтримують імунні функції. Екстракт застосовують у профілактичних засобах і функціональній їжі.

Гіпохолестериновий ефект

Сапоніни здатні зв'язувати холестерин у шлунково-кишковому тракті, зменшуючи його абсорбцію. Це відкриває перспективи використання екстракту в дієтичних добавках для корекції ліпідного профілю.

Покращення обміну речовин

Амінокислоти і вітаміни групи В сприяють нормалізації метаболічних процесів, підвищенню енергетичного обміну та загального тону організму.

1.4 Огляд традиційних методів екстракції рослинної сировини

Екстракція — це процес вилучення цільових компонентів із рослинної сировини за допомогою розчинника або фізичного впливу. Традиційні методи широко застосовуються в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості, однак мають ряд недоліків.

Нижче подано огляд класичних способів отримання рослинних екстрактів.

1.4.1 Мацерація (настоювання)

Це один із найдавніших і найпростіших методів, який полягає у витримуванні подрібненої сировини в розчиннику при кімнатній температурі.

Переваги:

- простота виконання;
- низькі енерговитрати.

Недоліки:

- тривалість процесу (від кількох годин до кількох діб);
- низький вихід діючих речовин;

- можливе мікробне забруднення.

1.4.2 Перколяція

Метод передбачає постійне проходження розчинника через шар рослинної сировини. Він ефективніший за мацерацію, але також має низку обмежень.

Переваги:

- вищий вихід активних компонентів;
- безперервність процесу.

Недоліки:

- великі витрати розчинника;
- низька селективність;
- тривалість.

1.4.3 Гаряча екстракція (нагрівання, кип'ятіння)

При нагріванні розчинність компонентів збільшується, що прискорює екстракцію.

Переваги:

- швидший процес;
- дешеве обладнання.

Недоліки:

- руйнування термолабільних БАР;
- погіршення якості екстракту;
- утворення побічних продуктів.

1.4.4 Екстракція органічними розчинниками

Застосовують етанол, метанол, ізопропанол, гексан тощо.

Переваги:

- висока ефективність вилучення компонентів;

- контроль розчинності.

Недоліки:

- залишкові розчинники у продукті;
- небезпека для харчових та косметичних продуктів;
- екологічні та токсикологічні ризики.

1.5 Сучасні інноваційні технології екстракції рослинної сировини

У зв'язку зі зростанням вимог до якості натуральних екстрактів та прагненням мінімізувати вплив на навколишнє середовище, традиційні методи екстракції поступово замінюються сучасними технологіями. До найбільш перспективних належать:

1.5.1 Ультразвукова екстракція (UAE)

Метод базується на використанні ультразвукових хвиль високої частоти, які створюють кавітаційні бульбашки у розчиннику. Їх руйнування сприяє розриву клітинних стінок рослинної сировини.

Переваги:

- застосування при низьких температурах;
- значне скорочення часу екстракції;
- підвищення виходу БАР;
- можливість покращення дифузії.

Недоліки:

- руйнування частини термолабільних речовин при неправильному налаштуванні;
- обмежений масштаб промислового застосування.

1.5.2 Мікрохвильова екстракція (MAE)

Застосування мікрохвиль дозволяє селективно нагрівати рослинну масу та розчинник, що прискорює процес вилучення цільових компонентів.

Переваги:

- швидке досягнення робочої температури;
- високий вихід екстрактів;
- низька витрата розчинників.

Недоліки:

- необхідність спеціального обладнання;
- можливість нерівномірного нагрівання.

1.5.3 Ферментативна екстракція

Ферменти (целюлази, геміцелюлази, пектинази) руйнують клітинні стінки рослин, підвищуючи доступність внутрішнього вмісту клітин.

Переваги:

- висока селективність;
- можливість отримання екстрактів із мінімальною термічною дією;
- екологічність.

Недоліки:

- висока вартість ферментів;
- залежність результату від точного підбору умов.

1.5.4 Надкритична CO₂-екстракція (SFE — Supercritical Fluid Extraction)

Це одна з найсучасніших та екологічно безпечних технологій екстракції, яка використовує діоксид вуглецю у надкритичному стані (температура > 31 °C, тиск > 7,38 МПа).

Переваги технології:

- відсутність токсичних розчинників;
- можливість тонкого регулювання селективності;
- низька температура процесу → збереження термолабільних компонентів;
- висока чистота кінцевого екстракту;
- CO₂ повністю видаляється після зниження тиску.

Недоліки:

- висока вартість обладнання;
- необхідність роботи з високим тиском.

Саме ця технологія найкраще підходить для делікатної рослинної сировини, яка містить термолабільні сполуки, зокрема люцерну.

1.6 Порівняльний аналіз ефективності традиційних та інноваційних методів екстракції

Для вибору оптимального методу екстракції необхідно порівняти ключові технологічні показники:

Таблиця 1.6.1- Вихід біологічно активних речовин

Метод	Вихід БАР	Коментар
Мацерація	низький	слабка дифузія, тривалість
Гаряча екстракція	середній	часткове руйнування БАР
Органічні розчинники	високий	можливі залишки розчинників
Ультразвукова	високий	можливе локальне перегрівання
Мікрохвильова	високий	залежить від типу сировини
Надкритична CO ₂	дуже високий	найкраща селективність

Таблиця 1.6.2- Чистота кінцевого продукту

Метод	Чистота	Коментар
Органічні розчинники	низька–середня	залишки етанолу/гексану
Гаряча екстракція	середня	продукти термічного

		розкладу
Надкритична CO ₂	висока	відсутність розчинників

1.6.3 Селективність вилучення

CO₂ у надкритичному стані дозволяє налаштовувати селективність змінюючи:

- тиск,
- температуру,
- швидкість потоку.

Тому метод дозволяє отримувати **екстракти з чіткою спрямованістю** — наприклад, збагачені хлорофілом або флавоноїдами.

1.6.4 Екологічність

CO₂-екстракція є:

- безвідходною,
- безрозчинниковою,
- енергоефективною,
- відповідає стратегії «зеленої хімії».

1.6.5 Загальний висновок

Надкритична CO₂-екстракція є найбільш ефективною та безпечною технологією для отримання високоякісного екстракту люцерни, що підтверджує доцільність її застосування у даній роботі.

1.7 Обґрунтування вибору надкритичної CO₂-екстракції для люцерни

Вибір даної технології визначається такими факторами:

- **Фактор 1.** Збереження термолабільних сполук

Люцерна містить хлорофіл, флавоноїди, сапоніни — речовини, які руйнуються при нагріванні. CO₂-екстракція працює при 35–60 °С, що дозволяє зберегти їх активність.

- **Фактор 2.** Висока чистота продукту

CO₂ повністю випаровується при зниженні тиску, тому екстракт не містить токсичних залишків, що критично для харчових і косметичних продуктів.

- **Фактор 3.** Селективність

Підвищення тиску збільшує розчинність важких молекул (жиророзчинних пігментів, хлорофілу).

Пониження — навпаки збагачує екстракт флавоноїдами.

- **Фактор 4.** Екологічність та безпека

Метод не забруднює навколишнє середовище та не потребує утилізації хімічних розчинників.

- **Фактор 5.** Ринкова цінність продукту

CO₂-екстракти цінуються вище за традиційні, що підвищує економічну доцільність виробництва.

Таким чином, застосування надкритичної CO₂-екстракції повністю відповідає вимогам сучасної хімічної інженерії, харчових технологій та косметичної індустрії.

1.8 Стан ринку натуральних екстрактів та перспективи використання екстракту люцерни

Ринок натуральних екстрактів демонструє стабільне зростання протягом останнього десятиліття. Особливо активно розвиваються сегменти:

- косметичних екстрактів,
- нутрицевтиків,
- функціональних харчових інгредієнтів,
- екстрактів для фармацевтичних препаратів.

Глобальні тенденції:

- Зростання попиту на *натуральну косметику* на 10–12 % щорічно.
- Розвиток сегменту *функціональних продуктів* (зростання 8–15 %).
- Попит на CO₂-екстракти в ЄС та США збільшується на 20–25 % щороку.

Місце екстракту люцерни на ринку

Екстракт люцерни цікавить виробників завдяки:

- високому вмісту антиоксидантів;
- природному зеленому пігменту (хлорофіл);
- детоксикаційним властивостям;
- безпеці для харчових та косметичних продуктів.

Перспективні напрями застосування:

Косметологія:

- антиоксидантні та омолоджувальні формули,
- догляд за чутливою шкірою,
- відновлення бар'єрних функцій.

Нутрицевтика:

- детокс-комплекси,
- імуномодулюючі добавки,
- вітамінні комплекси.

Харчові продукти:

- природний зелений пігмент,
- функціональні суміші,
- антиоксидантні добавки.

Фармацевтика:

- протизапальні та антимікробні засоби,
- компоненти фітопрепаратів.

Проведений аналітичний огляд науково-технічної літератури з технології отримання CO₂-екстракту люцерни засвідчив актуальність проведення досліджень та розвитку даного напрямку переробки рослинної сировини.

РОЗДІЛ 2 Об'єкти та методи дослідження

2.1 Фізичні та фізико-хімічні методи аналізу

Фізичні та фізико-хімічні методи аналізу є важливими інструментами для вивчення складу та властивостей екстракту люцерни. Ці методи дозволяють точно визначити характеристики екстракту, його активні компоненти, а також допомагають у встановленні якості та безпеки продукту. Ось кілька основних методів аналізу, які використовуються для дослідження екстрактів люцерни:

Спектроскопічні методи

Спектроскопія включає вивчення взаємодії світла з речовиною. Ці методи дозволяють досліджувати структуру молекул, ідентифікувати компоненти та визначати їх концентрацію

Ультрафіолетова-видима спектроскопія (UV-Vis): Цей метод використовується для визначення наявності певних органічних сполук, таких як флавоноїди та інші ароматичні сполуки, які поглинають світло в ультрафіолетовому або видимому діапазонах спектра. Спектри поглинання дозволяють ідентифікувати біологічно активні сполуки в екстракті люцерни та визначити їх концентрацію.

Інфрачервона спектроскопія (IR): Метод, який використовується для дослідження вібрацій молекул, що дозволяє визначити функціональні групи в органічних сполуках. Це дозволяє виявити різні типи хімічних зв'язків (наприклад, карбоксильні групи, аміди, фенольні групи) в молекулах, що містяться в екстракті люцерни.

Ядерно-магнітний резонанс (ЯМР): Метод, який дозволяє досліджувати структуру органічних молекул на основі взаємодії ядер атомів з магнітним полем. За допомогою ЯМР можна точно визначити хімічну структуру сполук, таких як флавоноїди, полісахариди, алкалоїди, що містяться в екстракті люцерни.

Хроматографічні методи

Хроматографія є одним з найпоширеніших методів для розділення та аналізу складних сумішей сполук. Вона дає можливість не тільки ідентифікувати, а й кількісно оцінити компоненти в екстракті люцерни.

Тонкошарова хроматографія (ТШХ): Використовується для попереднього розділення компонентів в екстрактах. Це швидкий і простий метод, який дозволяє отримати попереднє уявлення про склад екстракту люцерни.

Жидкостна хроматографія високої ефективності (HPLC): Це один з найбільш точних методів для аналізу екстрактів люцерни. За допомогою HPLC можна точно визначити концентрацію основних біологічно активних компонентів, таких як флавоноїди, сапоніни та вітаміни, а також провести їх розділення за допомогою різних колонок і розчинників.

Газова хроматографія (GC): Застосовується для аналізу летких сполук, таких як ефірні масла. За допомогою GC можна аналізувати склад ефірних олій, які можуть бути частиною екстракту люцерни.

Методи для визначення фізико-хімічних властивостей

Вимірювання рН: Для оцінки кислотно-лужного балансу екстракту люцерни можна використовувати рН-метри. Це важливий показник, оскільки рН екстракту може впливати на стабільність активних сполук.

Визначення в'язкості: В'язкість екстракту можна виміряти за допомогою високоміцних в'язкозиметрів, що дозволяє оцінити його консистенцію. Цей показник важливий для визначення можливості застосування екстракту в рідких формах (наприклад, для виготовлення сиропів або настоїв).

Визначення вологості: Метод визначення вологості екстракту люцерни може включати використання сушильних камер або гігрометрів. Важливо, щоб вологість екстракту була в межах норм, оскільки підвищена вологість може призвести до псування продукту.

Мас-спектрометрія (MS)

Мас-спектрометрія є методом аналізу молекул на основі їх маси та структури. За допомогою цього методу можна визначити точну масу молекул компонентів екстракту люцерни та виявити наявність важливих біологічно активних сполук.

Мас-спектрометрія з електронним іонізацією (EI): Це метод, який дозволяє отримати інформацію про молекулярні маси і структури молекул. Використовується для аналізу складних сумішей, таких як екстракти люцерни.

Мас-спектрометрія в поєднанні з хроматографією (GC-MS, LC-MS): Комбінація мас-спектрометрії з хроматографічними методами дозволяє отримати детальнішу інформацію про склад екстрактів, розділених на компоненти, та їх концентрації.

Титрування

Метод титрування може бути використаний для визначення кількості кислотних чи основних груп в екстракті люцерни. Цей метод дозволяє визначити концентрацію компонентів, таких як органічні кислоти (наприклад, яблучна чи хлорогенова кислота), що містяться в рослині.

Термогравіметричний аналіз (TGA)

Цей метод дозволяє вивчити зміну маси екстракту люцерни при нагріванні. Термогравіметричний аналіз використовується для визначення вмісту вологи, летючих компонентів та органічних залишків в екстрактах.

Узагальнення

Фізичні та фізико-хімічні методи аналізу є важливими інструментами для комплексного дослідження екстракту люцерни. Спектроскопія, хроматографія, мас-спектрометрія та інші методи дозволяють детально визначити склад екстракту, його активні компоненти та фізико-хімічні властивості, що важливо для забезпечення якості та безпеки продукту.

2.2 Методи відділення

У процесі отримання екстракту люцерни важливою частиною є методи відділення компонентів, що дозволяють розділяти біологічно активні сполуки та очищати їх від небажаних або супутніх речовин. Це дозволяє виділити

основні корисні компоненти, такі як флавоноїди, сапоніни, полісахариди, ефірні олії, вітаміни, мінерали та інші речовини. Ось основні методи відділення компонентів в екстрактах люцерни:

Екстракція (екстракція за допомогою розчинників)

Екстракція є основним методом для виділення компонентів з рослинної сировини, включаючи люцерну. Застосовуються як органічні, так і неорганічні розчинники для отримання бажаних компонентів.

Екстракція органічними розчинниками: Для виділення жиророзчинних компонентів (наприклад, ефірних олій, фітостеролів, ліпідів) використовуються органічні розчинники, такі як ацетон, метанол, хлороформ, етанол. Цей метод дозволяє екстрагувати полярні і неполярні сполуки з рослинної сировини.

Екстракція водою: Для вилучення водорозчинних компонентів, таких як вітаміни (особливо вітамін С, В-групи), мінерали та полісахариди (наприклад, інулін), використовують воду. Вона може застосовуватися як гаряча, так і холодна, в залежності від бажаних результатів і стабільності компонентів.

Екстракція спиртом: Спирт, зокрема етанол або метанол, використовується для вилучення середньополярних і полярних сполук, таких як флавоноїди, сапоніни, алкалоїди, фенольні з'єднання. Етанол, будучи розчинником середньої полярності, здатен екстрагувати більшість біологічно активних сполук.

Хроматографія

Хроматографія є одним із найефективніших методів для розділення та аналізу складних сумішей компонентів. Хроматографічні методи дозволяють досягти високого рівня очищення та розділення біологічно активних компонентів.

Тонкошарова хроматографія (ТШХ): Це простий і доступний метод, який використовується для попереднього відділення компонентів екстракту. ТШХ дозволяє швидко оцінити склад суміші на основі її взаємодії з різними фазами (адсорбентами).

Рідинна хроматографія високої ефективності (HPLC): Для більш точного розділення та кількісного визначення компонентів використовують HPLC. Цей метод дозволяє з високою точністю розділяти компоненти на основі їх молекулярної маси та хімічної структури. Для екстрактів люцерни метод HPLC часто застосовують для визначення рівня флавоноїдів, поліфенолів, сапонінів і інших біоактивних сполук.

Газова хроматографія (GC): Газова хроматографія застосовується для аналізу летких сполук, таких як ефірні олії. У поєднанні з детекторами (наприклад, мас-спектрометри) газова хроматографія дозволяє відокремити та ідентифікувати компоненти, що містяться в летких частинах екстракту.

Фільтрація

Фільтрація використовується для відділення нерозчинних часток або твердої фази від рідкої, особливо після екстракції. Це дозволяє очистити екстракт від механічних домішок та часток рослинної сировини.

Механічна фільтрація: Це базовий метод, який використовується для видалення великих часток (наприклад, частинок рослинної тканини) з рідкого екстракту. Для цього використовують різноманітні фільтрувальні матеріали, як-от фільтри з паперу, тканини чи інших пористих матеріалів.

Нанофільтрація та ультрафільтрація: Ці методи використовуються для відділення більш дрібних часток або молекул, що мають молекулярну масу більше ніж 1000 Да. Це особливо корисно при очищенні екстрактів від макромолекул (наприклад, полісахаридів або білків) чи при концентруванні розчинів.

Осадження (преципітація)

Осадження — це метод, за допомогою якого відділяються компоненти в розчині шляхом утворення нерозчинних осадів. Це може бути досягнуто додаванням до екстракту реагентів, що утворюють осад з певними компонентами.

Осадження за допомогою розчинників: При додаванні менш полярних розчинників до розчинів, можуть осідати полярні сполуки. Це дає можливість виділити певні компоненти екстракту, наприклад, при осажденні полісахаридів.

Осадження за допомогою реагентів: Додавання специфічних реагентів, таких як солі або кислоти, може сприяти осажденню певних компонентів. Наприклад, осадження алкалоїдів або металевих іонів (кальцій, магній, залізо) при додаванні відповідних хімічних реагентів.

Випарювання та концентрування

Випарювання використовується для видалення розчинника з екстракту, що дозволяє концентрувати корисні компоненти.

Випарювання при атмосферному тиску: Використовується для видалення більшості органічних розчинників, таких як етанол або ацетон, з екстракту, щоб отримати більш концентрований продукт. Важливо, щоб температура не перевищувала допустимі межі для термолабільних сполук.

Випарювання під вакуумом: Цей метод дозволяє проводити випарювання при більш низьких температурах, що мінімізує теплове пошкодження біологічно активних компонентів.

Суперцітратна екстракція (суперкритична рідина)

Метод суперцітратної екстракції використовує суперцітратні рідини, такі як CO_2 в суперкритичному стані, для екстракції розчинних компонентів. Цей метод дозволяє отримати високу чистоту та ефективність екстракції, особливо для жиророзчинних компонентів, без використання органічних розчинників.

Суперцітратна екстракція CO_2 : CO_2 під високим тиском може бути використаний для вилучення ефірних олій, поліфенолів та інших жиророзчинних компонентів з рослинної сировини.

Мембранні методи

Мембранні фільтраційні методи використовують мембрани з певним розміром пор для розділення компонентів на основі їх молекулярної маси.

Мембранна фільтрація: дозволяє відділяти великі молекули, такі як білки або полісахариди, від більш дрібних молекул у екстракті люцерни.

Осмоз зворотного потоку (RO): Мембрани зворотного осмосу можуть бути використані для видалення води з екстракту, що дозволяє концентрувати активні компоненти.

Узагальнення

Методи відділення є важливими для очищення та концентрування корисних компонентів з екстракту люцерни. Вибір методу залежить від типу компонентів, які потрібно виділити, а також від бажаної чистоти та концентрації кінцевого продукту. Всі ці методи застосовуються для забезпечення високої якості екстракту, що може бути використаний в фармацевтичній або харчовій промисловості.

2.3 Якісні виявлення харчових добавок в пробі

Якісні методи виявлення харчових добавок дозволяють виявити наявність певних компонентів або сполук у пробі. Для екстракту люцерни це може включати визначення наявності біологічно активних речовин, таких як вітаміни, флавоноїди, мінерали, а також додаткових добавок, що використовуються для покращення властивостей екстракту, таких як консерванти, барвники, антиоксиданти, стабілізатори тощо.

У цьому розділі ми розглянемо кілька основних якісних методів виявлення харчових добавок у пробах екстракту люцерни.

Якісне виявлення вітамінів

Вітаміни є важливими біологічно активними сполуками, які можуть бути присутніми в екстрактах рослин, зокрема люцерни. Для їх виявлення можуть використовуватись наступні методи:

Виявлення вітаміну С (аскорбінова кислота): Використовується метод титрування з використанням йодного розчину або індикатора, який змінює колір при взаємодії з аскорбіновою кислотою. Це дозволяє визначити вміст вітаміну С в пробі екстракту люцерни.

Виявлення вітамінів групи В: Вітаміни цієї групи можуть бути виявлені за допомогою різних хроматографічних методів (наприклад, методом тонкошарової хроматографії). Також використовуються специфічні хімічні реакції, що дозволяють виявити піридоксин (В6), рибофлавін (В2) та інші вітаміни цієї групи.

Виявлення вітаміну К: Вітамін К можна виявити за допомогою спектрофотометрії, оскільки він поглинає світло на певних довжинах хвиль. Зазвичай це досліджується на основі ультрафіолетового спектра.

Якісне виявлення флавоноїдів

Флавоноїди є одними з основних біологічно активних сполук в екстракті люцерни. Їх можна виявити за допомогою таких методів:

Тонкошарова хроматографія (ТШХ): ТШХ дозволяє розділити флавоноїди в екстракті люцерни на різні компоненти. Це один з найбільш простих методів для попереднього визначення флавоноїдів у пробі.

Колориметричні методи: Для виявлення флавоноїдів використовують реакцію з $AlCl_3$ (хлоридом алюмінію), що дає характерне забарвлення (наприклад, жовте, червоне, синє) в залежності від типу флавоноїду. Цей метод є швидким і дозволяє виявити наявність флавоноїдів у розчині.

Якісне виявлення антиоксидантів

Антиоксиданти, такі як поліфеноли та вітаміни (С, Е), можуть бути присутніми в екстракті люцерни. Їх виявлення здійснюється через такі методи:

Ферозиний тест: Цей метод використовується для визначення здатності антиоксидантів взаємодіяти з певними іонами металів (наприклад, Fe^{2+}). Це дозволяє визначити загальний рівень антиоксидантної активності в екстракті.

Фенольний метод: Визначення загальної кількості фенольних сполук (поліфенолів) у екстракті люцерни може бути проведене за допомогою реакції з фосфорно-ванадатним реагентом. Це дає колірну реакцію, інтенсивність якої прямо пропорційна кількості фенольних сполук.

Якісне виявлення мінералів та елементів

Мінерали, такі як кальцій, магній, залізо, калій, можуть бути присутніми в екстракті люцерни. Для їх виявлення використовуються методи, зокрема:

Фламотронна спектроскопія: Для визначення наявності металів у пробі можна використовувати атомно-абсорбційну спектроскопію (ААС), що дозволяє виявити та кількісно оцінити вміст металів, таких як кальцій, магній, залізо та інші мікроелементи в екстракті.

Титрування мінералів: Для виявлення таких елементів, як кальцій, можна використовувати титрування з етилендіамінтетраоцтовою кислотою (EDTA), що утворює стабільні комплекси з іонами металів.

Якісне виявлення консервантів та добавок

Консерванти та інші добавки, такі як барвники, антиокислювачі, стабілізатори, можуть бути присутніми в екстрактах, особливо в тих, що піддаються обробці для збільшення терміну зберігання або для покращення їх органолептичних властивостей. Для їх виявлення застосовуються такі методи:

Виявлення консервантів (наприклад, сульфітів): Сульфіти можуть бути виявлені за допомогою реакцій, що дають характерні зміни кольору при наявності цих сполук (наприклад, з додаванням йодного розчину). Для виявлення сульфітів також використовується хроматографія.

Виявлення барвників: Для виявлення барвників, що використовуються в харчових добавках, можна використовувати спектрофотометрію або хроматографію. Зокрема, барвники, такі як азобарвники, можуть бути виявлені за допомогою ТШХ або за допомогою колориметричних методів.

Виявлення антиоксидантів (наприклад, ВНА або ВНТ): Антиоксиданти, такі як бутилгідроксианізол (ВНА) і бутилгідрокситолуол (ВНТ), можуть бути виявлені за допомогою газової хроматографії або рідинної хроматографії. Вони утворюють специфічні піки в хроматограмі, що дозволяє визначити їх кількість.

2.4 Сенсорна характеристика CO_2 -екстракту люцерни

Для оцінювання органолептичних властивостей екстракту було побудовано сенсорний профіль, що включає інтенсивність кольору, зеленість, трав'янистість, рослинний та зелений запахи, а також смак. На рис. 3.8 наведено радарну діаграму, яка відображає відносну вираженість зазначених показників.

Найбільші значення припадають на трав'янистий та зелений запахи, що є типовими для хлорофіловмісної сировини. Інтенсивність кольору та зеленість також мають високі показники, що відповідає високому вмісту хлорофілу у

CO₂-екстракті. Смак характеризується легкою гірчинкою та природною рослинністю, що є нормальними органолептичними ознаками екстракту люцерни.

Сенсорний профіль відображає інтенсивність ключових органолептичних показників CO₂-екстракту люцерни: кольору, зеленості, трав'янистого та рослинного запахів, а також смакових характеристик. Профіль має форму радарної діаграми, що дозволяє порівняти силу прояву кожного параметра.

Отриманий профіль демонструє виражену трав'янистість та зелений аромат, які є типовими для екстрактів, збагачених хлорофілом, каротиноїдами та іншими природними пігментами. Високі значення показників «трав'янистий запах» і «зелений запах» свідчать про те, що надкритична CO₂-екстракція ефективно вилучає ліпідні та ароматичні сполуки, які відповідають за характерний аромат свіжої рослинної сировини.

Інтенсивність кольору та зеленість також мають високі показники. Це пояснюється значним вмістом хлорофілу А і В, який у CO₂-екстракті зберігається майже без змін завдяки низькотемпературному режиму екстракції (40–60 °С). Такий насичений зелений колір є маркером якості та підтверджує мінімальне руйнування пігментів.

Смакові характеристики включають легку природну гірчинку та рослинний присмак. Це зумовлено наявністю сапонінів, флавоноїдів та інших фенольних сполук, що властиві люцерні. Помірний рівень гіркоти є типовим для зелених рослинних екстрактів і не є дефектом, а навпаки — підтверджує природність та відсутність хімічної обробки.

Загалом сенсорний профіль свідчить про те, що екстракт має типові, стабільні та природні органолептичні властивості, притаманні CO₂-витяжкам зелених рослин. Висока інтенсивність аромату й кольору може бути використана як додаткова перевага при його застосуванні у косметичних засобах, харчових добавках і функціональних продуктах, де цінується натуральність і виражена фітонатуральна характеристика.



Рисунок 2.1 - Сенсорний профіль CO₂-екстракту люцерни

Таблиця 2.1 - Сенсорні показники CO₂-екстракту люцерни

№	Показник	Характеристика (оцінка, балів 0–10)	Коментар
1	Інтенсивність кольору	8-9	Насичений темно-зелений колір, обумовлений високим вмістом хлорофілу
2	Зеленість	8	Характерний зелений відтінок без бурих домішок
3	Трав'янистий запах	9	Виражений аромат свіжої рослинної маси, типовий для люцерни
4	Рослинний запах	7-8	М'який, природний, без сторонніх запахів
5	Зелений запах	9	Інтенсивний, з нотами хлорофілу та каротиноїдів

Продовження таблиці 2.1

6	Смак	6-7	Легка природна гірчинка, притаманна флавоноїдам і сапонінам
7	Оцінка загальної натуральності	9	Яскраво виражений природний характер, відсутність синтетичних нот

Отримані сенсорні дані свідчать про те, що CO₂-екстракт люцерни має типовий для зелених рослин насичений колір та виражений фітонатуральний аромат. Високі значення показників «трав'янистий запах» та «зелений запах» вказують на значний вміст хлорофіловмісних фракцій, що практично не руйнуються в умовах надкритичної екстракції. Легка гірчинка у смаку є нормальною органолептичною властивістю та зумовлюється природними флавоноїдами та сапонінами. Загальна натуральність екстракту оцінена високо, що є важливою перевагою для харчових і косметичних продуктів.

Узагальнення

Якісні методи виявлення харчових добавок у пробах екстракту люцерни дозволяють виявити наявність вітамінів, флавоноїдів, антиоксидантів, мінералів та консервантів. Для кожного типу добавок застосовуються різні методи, що дозволяють точно і швидко визначити їх присутність і концентрацію. Це важливо для забезпечення безпеки та якості харчових продуктів, а також для контролю за дотриманням стандартів у харчовій промисловості.

2.5 Фотометричне визначення харчових добавок

Фотометрія є одним з найбільш широко використовуваних методів аналізу в хімії, зокрема для визначення концентрації різних компонентів у розчині, зокрема харчових добавок. Вона базується на вимірюванні поглинання світла (зазвичай у видимому, ультрафіолетовому або інфрачервоному

діапазонах спектра) різними компонентами в пробі. Кожна сполука має характерну здатність поглинати світло на певних довжинах хвиль, і за величиною цього поглинання можна визначити її концентрацію в розчині.

Основи фотометричного методу:

Фотометрія ґрунтується на законах поглинання світла, зокрема на Законі Бера–Ламберта, який формулюється так:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

де:

A — абсорбція (поглинена інтенсивність світла),

ε — молекулярний коефіцієнт поглинання (залежить від речовини та довжини хвилі),

c — концентрація речовини в розчині,

l — товщина шару розчину, через який проходить світло (зазвичай це шлях променя в см).

Цей закон дозволяє вимірювати поглинання світла на конкретній довжині хвилі для визначення концентрації певних компонентів в екстракті.

Застосування фотометрії для визначення харчових добавок:

Фотометричні методи дозволяють виявити та кількісно визначити харчові добавки (наприклад, антиоксиданти, вітаміни, консервантів, барвників) у харчових продуктах та екстрактах. Ось кілька основних напрямків, де застосовуються фотометричні методи:

Визначення антиоксидантів (наприклад, вітаміну С, поліфенолів, флавоноїдів)

Антиоксиданти, що містяться в екстрактах рослин, таких як люцерна, можуть бути виявлені за допомогою фотометрії. Для цього використовують різні хімічні реакції, які дозволяють виділити антиоксидантні сполуки на основі їх здатності до поглинання світла в специфічному діапазоні довжин хвиль.

Вітамін С (аскорбінова кислота): Для визначення концентрації аскорбінової кислоти використовують йодометричну реакцію з подальшим вимірюванням поглинання йоду або інших продуктів реакції на певних

довжинах хвиль. Вітамін С має характерну пікову абсорбцію на хвилі близько 265–290 нм.

Поліфеноли та флавоноїди: Ці сполуки мають специфічні абсорбційні піки в ультрафіолетовому та видимому діапазонах спектра (наприклад, на хвилях 320–370 нм для флавоноїдів). Для їх виявлення використовуються різні колориметричні реакції з додаванням індикаторів або реагентів (наприклад, з FeCl_3 для флавоноїдів).

Визначення вітамінів (В-групи, вітамін Е)

Вітаміни групи В та вітамін Е можуть бути виявлені за допомогою фотометричних методів, оскільки ці сполуки мають характерні абсорбційні властивості. Використовуються специфічні реагенти, які з'єднуються з вітамінами, утворюючи кольорові комплекси, інтенсивність яких вимірюється фотометрично.

Вітамін Е (токоферолі): Може бути виявлений за допомогою реакцій з антиоксидантами, які утворюють стійкі комплекси з металами або іншими індикаторами, що поглинають світло на хвилях близько 280–300 нм.

Визначення консервантів (наприклад, сульфітів, бензоату натрію)

Консерванти, такі як сульфіти та бензоати, можуть бути виявлені через їх здатність утворювати кольорові комплекси з певними реагентами, що змінюють абсорбцію світла.

Сульфіти: Для визначення сульфітів застосовуються реакції з додаванням йодовмісних реагентів, після чого вимірюється зміна поглинання на певній довжині хвилі (наприклад, 420 нм).

Бензоати: Визначення бензоатів вимагає реакції з специфічними індикаторами (наприклад, залізо-III хлоридом), що утворюють кольорові комплекси, які мають характерну абсорбцію в видимому спектрі.

Визначення барвників (наприклад, азобарвників, карміну)

Барвники, що використовуються в харчовій промисловості, можуть бути виявлені шляхом вимірювання їх абсорбції в видимому спектрі. Для цього можна використовувати фотометрію для визначення концентрації барвників у пробах екстракту люцерни або в інших харчових продуктах.

Азобарвники: Мають специфічні пікові абсорбції в діапазоні 400–500 нм (наприклад, червоний барвник, що поглинає світло на 480 нм).

Кармін: Поглинає світло на довжині хвилі близько 510 нм, і його концентрацію можна визначити за допомогою фотометрії.

Визначення стабілізаторів та добавок (наприклад, антиоксиданти, стабілізатори текстури)

Стабілізатори текстури та інші добавки можуть бути виявлені через їх реакцію з іншими речовинами, що дають стійкі кольорові комплекси, які можна виміряти фотометрично.

Прилади для фотометрії:

Фотометр: Прилад, який вимірює інтенсивність світла, що проходить через пробу після взаємодії з її компонентами.

Спектрофотометр: Прилад, що дозволяє вимірювати поглинання світла на різних довжинах хвиль і дає можливість отримати спектр поглинання, що використовується для аналізу складу та концентрації компонентів.

Переваги фотометричного визначення:

Швидкість та простота: Фотометрія є швидким і нескладним методом, що не вимагає складної підготовки проб.

Висока чутливість: Фотометричні методи можуть бути дуже чутливими, що дозволяє визначати навіть низькі концентрації харчових добавок.

Неспецифічність: В деяких випадках фотометрія може мати неспецифічність (особливо для складних сумішей), тому для точного визначення часто використовують комбінацію з іншими методами, такими як хроматографія.

Узагальнення

Фотометричні методи дозволяють ефективно і точно визначати концентрацію харчових добавок у різних зразках, таких як екстракти люцерни, харчові продукти чи добавки. Вони використовують властивість сполук поглинати світло на певних довжинах хвиль і дають можливість швидко і безпечно оцінити якість та склад харчових добавок.

2.6 Спектрофотометричні методи визначення

Спектрофотометрія є одним із основних інструментальних методів для аналізу складу речовин на основі їх здатності поглинати або випромінювати світло в певних діапазонах спектра. Це дозволяє кількісно визначати концентрацію компонентів у пробах, таких як екстракти люцерни та харчові добавки, шляхом вимірювання поглинання світла на різних довжинах хвиль.

Види спектрофотометричних методів

Ультрафіолетова спектрофотометрія (UV-Vis)

Цей метод застосовують для визначення компонентів, що поглинають світло в ультрафіолетовому та видимому діапазонах спектра (від 200 до 800 нм). В екстрактах люцерни цей метод використовується для виявлення та кількісного визначення таких сполук, як флавоноїди, поліфеноли, вітаміни та інші біологічно активні компоненти.

Флавоноїди: Флавоноїди, такі як кемпферол і кверцетин, мають характерні максимуми поглинання в діапазоні 350–400 нм. Спектрофотометрія дозволяє визначити їх концентрацію в екстрактах рослин.

Поліфеноли: Поліфеноли та їх похідні часто поглинають світло в ультрафіолетовому спектрі, з піками поглинання в межах 280–320 нм.

Вітаміни: Вітаміни, такі як вітамін С, також мають характерну абсорбцію в ультрафіолетовому діапазоні.

Переваги:

Швидкий і простий метод

Може використовуватися для визначення якості та кількості компонентів у складних сумішах.

Не потребує складної попередньої підготовки проб.

Інфрачервона спектрофотометрія (IR)

Інфрачервона спектрофотометрія дозволяє аналізувати молекули на основі їх вібраційних переходів (коливань хімічних зв'язків) при поглинанні інфрачервоного світла. Цей метод використовують для вивчення функціональних груп, таких як карбоксильні (COOH), аміногрупи (NH₂), фенольні групи (OH) та інші.

Виявлення функціональних груп: Спектри поглинання у інфрачервоному діапазоні дозволяють ідентифікувати різні функціональні групи, що входять до складу молекул екстракту люцерни.

Переваги:

- Може давати структурну інформацію про молекули.
- Використовується для ідентифікації хімічних функціональних груп.
- Підходить для аналізу складних органічних сполук.

Флуоресцентна спектрофотометрія

Флуоресцентна спектрофотометрія базується на здатності молекул випромінювати світло після поглинання його на певній довжині хвилі. Це дозволяє вимірювати концентрацію речовин, які мають флуоресцентні властивості, таких як певні антиоксиданти або барвники.

Вітаміни та антиоксиданти: Деякі антиоксиданти, що містяться в екстрактах люцерни (наприклад, флавоноїди), можуть мати флуоресценцію при відповідних умовах.

Переваги:

- Висока чутливість і специфічність.
- Може бути використана для дуже низьких концентрацій сполук.
- Дає можливість виявляти молекули, які не поглинають світло, але випромінюють його.

Раманівська спектрофотометрія

Раманівська спектроскопія дозволяє вивчати вібраційні моди молекул на основі їх взаємодії з монохроматичним світлом, що розсіюється. Цей метод використовують для аналізу структурних характеристик молекул у складі екстракту люцерни.

Виявлення компонентів: Раманівська спектроскопія може бути використана для аналізу мікроскопічних кількостей компонентів, таких як поліфеноли, амінокислоти та інші органічні молекули.

Переваги:

- Не вимагає попереднього приготування проб.

- Може бути використана для дослідження структур органічних молекул.

Застосування спектрофотометричних методів для визначення харчових добавок

Спектрофотометрія є дуже корисним інструментом для кількісного визначення харчових добавок, оскільки багато добавок, таких як антиоксиданти (вітаміни, поліфеноли), барвники, консерванти та інші біологічно активні сполуки, мають властивості, які можна виміряти через поглинання або випромінювання світла.

Визначення антиоксидантів: Спектрофотометрія може бути використана для кількісного визначення антиоксидантної активності, що є важливим для продуктів, що містять екстракти люцерни, оскільки ця рослина багата антиоксидантами, такими як вітамін С та флавоноїди.

Визначення консервантів: Наприклад, для виявлення сульфідів, які часто використовуються як консерванти в харчових продуктах, спектрофотометрія дозволяє визначити їх концентрацію шляхом вимірювання змін у поглинанні світла на специфічних довжинах хвиль.

Визначення барвників: Барвники, що використовуються в харчових добавках, також можуть бути виявлені за допомогою спектрофотометрії, оскільки вони мають характерні спектри поглинання в видимому діапазоні.

Переваги спектрофотометрії:

- **Швидкість:** Спектрофотометричні методи є швидкими і не вимагають складної підготовки проб.
- **Точність:** Висока точність при визначенні концентрацій компонентів.
- **Можливість аналізу складних сумішей:** Здатність одночасно визначати кілька компонентів в одній пробі.
- **Універсальність:** Використовуються для широкого спектру речовин — від антиоксидантів до консервантів.

Узагальнення

Спектрофотометричні методи є потужним інструментом для дослідження та визначення компонентів у харчових добавках і екстрактах люцерни. Завдяки своїй простоті, швидкості та точності, ці методи знаходять широке застосування у фармацевтичній та харчовій промисловості для контролю якості та визначення концентрацій різних сполук.

2.7 Полярографічні методи

Полярографія — це електрохімічний метод аналізу, який використовується для визначення концентрацій різних компонентів в розчинах за допомогою вимірювання електричного струму, що виникає при зміні потенціалу електрода в розчині. Цей метод часто застосовується для вивчення окисно-відновних реакцій, а також для аналізу іонів металів, органічних сполук і біологічно активних речовин.

Основи полярографії

Полярографія ґрунтується на використанні вуглецевого електрода (зазвичай ртутного, але також можуть бути використані інші електроди) для вимірювання струму, що проходить через розчин при зміні електричного потенціалу. Ключовим аспектом є те, що при зміні потенціалу електрода відбувається редокс-реакція, в результаті якої виділяються або поглинаються електрони, що призводить до виникнення електричного струму.

Полярографічна крива: На графіку, який будується під час полярографічного аналізу, по осі X відкладається потенціал електрода, а по осі Y — струм. Крива, отримана в результаті цих вимірювань, дає інформацію про наявність і концентрацію різних компонентів у пробі.

Електричний струм є функцією концентрації компонентів в розчині, що дозволяє визначити їх кількість шляхом порівняння отриманого струму з табличними значеннями для певних реакцій.

Принцип роботи полярографічного методу

Змінний потенціал: Змінюється потенціал, що подається на електрод, і в результаті цього змінюється потік електронів в розчині.

Виникнення редокс-реакцій: При певному потенціалі відбувається окиснення або відновлення компонентів у розчині.

Поглинання або виділення електронів: Процес окиснення або відновлення супроводжується виділенням або поглинанням електронів, що генерує електричний струм.

Реєстрація струму: Вимірюється електричний струм, що відповідає певному потенціалу, і це дозволяє побудувати полярографічну криву.

Застосування полярографічних методів

Полярографія широко застосовується для аналізу різноманітних речовин, таких як іони металів, органічні сполуки, антиоксиданти, вітаміни, а також для дослідження окисно-відновних процесів. Ось кілька основних застосувань:

Визначення іонів металів

Полярографія є дуже чутливим методом для визначення іонів металів у розчинах. Вона дозволяє вимірювати концентрації важких металів, таких як свинець (Pb), кадмій (Cd), мідь (Cu) та інші, що можуть бути присутніми в екстрактах або харчових продуктах.

Методи для визначення металів: Полярографічний метод дозволяє провести визначення концентрації металів у зразках з високою точністю. При цьому кожен метал має свій характерний потенціал для окиснення чи відновлення, що дозволяє точно визначити його концентрацію в розчині.

Визначення антиоксидантів

Антиоксиданти, такі як флавоноїди, вітаміни (наприклад, вітамін C) або фенольні сполуки, мають редокс-активність і можуть бути виявлені за допомогою полярографії. У розчині антиоксиданти можуть окислюватися або відновлюватися при певних потенціалах, що дозволяє їх кількісно визначити.

Визначення антиоксидантної активності: Полярографічний метод є чутливим для аналізу антиоксидантних сполук, що містяться в екстрактах люцерни та інших рослинних джерелах.

Визначення органічних сполук

Поляррографія може бути застосована для аналізу органічних сполук, які можуть брати участь в окисно-відновних реакціях. Це можуть бути різноманітні біологічно активні сполуки, які проявляють редокс-властивості.

Визначення органічних добавок: Для аналізу органічних сполук, таких як ароматичні сполуки, барвники та інші органічні добавки, застосовується поляррографія. Це дозволяє не тільки визначати їх концентрацію, але й оцінювати їх участь у реакціях окиснення/відновлення.

Визначення кислотності та буферної ємності

Поляррографія може бути застосована для визначення кислотно-лужних властивостей розчинів, зокрема виявлення буферних систем у біологічних розчинах або екстрактах. Це особливо важливо для вивчення стабільності харчових екстрактів, таких як люцерна.

Моніторинг якості харчових добавок

Поляррографія дозволяє визначити вміст шкідливих домішок у харчових добавках, таких як важкі метали, а також може використовуватися для аналізу антиоксидантів і інших біологічно активних речовин у харчових продуктах та добавках.

Переваги поляррографічних методів

Чутливість: Поляррографія є дуже чутливим методом і може виявляти низькі концентрації компонентів.

Специфічність: Кожен компонент має характерний потенціал для окиснення/відновлення, що дозволяє точно ідентифікувати речовину.

Економічність: Метод не вимагає великих витрат реагентів і може бути використаний для аналізу невеликих обсягів проб.

Недоліки поляррографії

Обмежена здатність до аналізу складних сумішей: Поляррографія може бути менш ефективною при аналізі складних сумішей, де присутні багато компонентів, які мають схожі потенціали для окиснення або відновлення.

Необхідність спеціального обладнання: Для проведення аналізу необхідне використання полярографа або відповідного електрохімічного приладу, що може бути досить дорогим.

Узагальнення

Полярографічні методи є потужним інструментом для дослідження редокс-реакцій, визначення концентрацій металів, антиоксидантів та органічних сполук в екстрактах рослин і харчових продуктах. Ці методи дають змогу точно і швидко визначити компоненти, що мають редокс-активність, і можуть бути використані для контролю якості екстрактів люцерни та інших натуральних добавок.

2.8 Амперметричні методи

Амперметрія є одним з типів електрохімічних методів аналізу, заснованих на вимірюванні електричного струму, який протікає через розчин при певному потенціалі. Цей метод використовується для вивчення окисно-відновних процесів, визначення концентрації іонів та інших компонентів, а також для аналізу складу розчинів, зокрема в екстрактах рослин.

Амперметрія відрізняється від потенціометрії тим, що в амперметрії вимірюється не електричний потенціал, а струм, що протікає через систему в результаті окисно-відновних реакцій. Це дозволяє досліджувати не лише зміни потенціалу, але й сам процес переносу електронів.

Принцип амперметрії

Амперметрія ґрунтується на вимірюванні струму, що виникає через електроди під впливом окисно-відновних реакцій. При цьому потенціал електрода контролюється таким чином, щоб він забезпечував оптимальні умови для редокс-реакцій, а струм вимірюється, що дає інформацію про наявність та концентрацію реагентів у розчині.

У загальному вигляді процес вимірювання струму виглядає так:

При подачі потенціалу на робочий електрод відбуваються окисно-відновні реакції, в результаті яких утворюється струм.

Інтенсивність струму пропорційна концентрації іонів або інших компонентів у розчині, що дозволяє визначити їх кількість.

Залежність струму від концентрації компонента можна описати рівнянням:

$$I = k \cdot [C]^n$$

де:

I — струм,

k — константа, що залежить від умов реакції,

$[C]$ — концентрація компонента,

n — порядок реакції.

Основні види амперметрії

Потенціостатична амперметрія

У потенціостатичній амперметрії потенціал робочого електрода постійно контролюється, а струм вимірюється при кожному значенні потенціалу. Це дозволяє вивчати реакції окислення або відновлення, визначати концентрації компонентів та досліджувати механізми реакцій.

Баріометрична амперметрія

Цей метод використовує вимірювання струму, що протікає через розчин при різних швидкостях зміни потенціалу електрода. Це дозволяє вивчати динаміку процесів окислення/відновлення і отримувати інформацію про кінетичні параметри реакцій.

Циклічна вольтамперометрія (CV)

Цей метод є варіантом амперметрії, при якому потенціал електрода змінюється циклічно (плавно збільшується і зменшується) по часу. Циклічна вольтамперометрія використовується для дослідження складних редокс-реакцій і для визначення концентрацій компонентів, які змінюються під час циклічного коливання потенціалу.

Інверсійна амперметрія

В інверсійній амперметрії вимірюється зміна струму під час переходу через нульовий потенціал, що дозволяє виявляти окисно-відновні пари компонентів з дуже низькими концентраціями.

Застосування амперметричних методів

Амперметричні методи мають широке застосування в різних галузях, зокрема в хімічному, фармацевтичному, біологічному та харчовому аналізах.

Визначення іонів металів

Амперметрія є одним із найбільш чутливих методів для визначення іонів металів у розчині. Це дозволяє точно вимірювати концентрації важких металів (наприклад, свинець (Pb), кадмій (Cd), мідь (Cu)) у екстрактах або харчових продуктах.

Визначення металів: За допомогою амперметрії можна визначати концентрацію металів у розчинах, що містять низькі рівні цих елементів. Використовуються спеціальні іон-селективні електроди, що дозволяють точно виміряти іони певних металів, таких як мідь або залізо.

Визначення антиоксидантів

Антиоксидантні сполуки, такі як вітаміни (наприклад, вітамін С) та флавоноїди, мають редокс-властивості, що дозволяє їх вимірювати за допомогою амперметрії. Ці сполуки можуть відновлювати або окислюватися на електроді, що дає сигнал про їх концентрацію.

Оцінка антиоксидантної активності: Амперметрія використовується для вимірювання антиоксидантної активності різних екстрактів, включаючи екстракти люцерни, що дозволяє визначити ефективність антиоксидантів.

Визначення органічних сполук

Амперметрія застосовується для аналізу органічних сполук, які беруть участь в окисно-відновних реакціях, таких як деякі ароматичні сполуки, барвники або добавки. Цей метод дозволяє визначити концентрацію органічних речовин, що мають редокс-характеристики.

Аналіз органічних добавок: Для аналізу органічних сполук, таких як барвники чи стабілізатори, застосовуються амперметричні методи для точного визначення їх концентрації.

Визначення вітамінів

Амперметрія використовується для визначення концентрації водорозчинних вітамінів, таких як вітамін С, завдяки їх здатності до редокс-реакцій. Це особливо важливо для контролю якості харчових продуктів та добавок.

Кислотно-лужний аналіз

Амперметрія також використовується для визначення кислотно-лужного балансу (рН) у розчинах, зокрема для аналізу екстрактів рослин або харчових добавок. Вимірювання струму дозволяє точніше оцінити рН в процесі титрування.

Переваги амперметрії

Висока чутливість: Амперметричні методи є дуже чутливими і дозволяють визначати концентрації компонентів навіть у дуже низьких концентраціях.

Швидкість та ефективність: Цей метод дозволяє проводити вимірювання швидко, що робить його зручним для аналізу зразків у реальному часі.

Висока точність: Амперметрія дає точні та надійні результати, що особливо важливо для точного визначення компонентів у харчових і фармацевтичних продуктах.

Недоліки амперметрії

Необхідність попереднього калібрування: Для отримання точних результатів необхідне правильне калібрування приладу.

Інтерференція: У складних сумішах можуть виникати інтерференції з іншими компонентами, що вимагає застосування специфічних електродів або додаткових методів для очищення проб.

Узагальнення

Амперметричні методи є потужними інструментами для визначення концентрації різних компонентів в розчинах, зокрема металів, антиоксидантів, органічних сполук і вітамінів. Вони використовуються для контролю якості екстрактів, харчових продуктів і добавок, а також для дослідження окисно-відновних процесів. Цей метод дозволяє проводити швидкий та точний аналіз з високою чутливістю.

2.9 Інші методи визначення компонентів в екстрактах рослин та харчових добавках

Крім основних електрохімічних та спектроскопічних методів, існує ряд інших методів аналізу, що широко застосовуються для дослідження екстрактів люцерни та харчових добавок. Ці методи дозволяють отримувати додаткову інформацію про склад компонентів, їх концентрацію та активність у різних зразках. Ось кілька важливих альтернативних методів:

Хроматографічні методи

Хроматографія є одним із основних методів для розділення, ідентифікації та кількісного визначення компонентів складних сумішей, таких як екстракти рослин або харчові продукти.

Газова хроматографія (GC): Газова хроматографія використовується для аналізу летких сполук, таких як ефірні олії, алкалоїди та інші органічні речовини. Метод дозволяє розділити та точно виміряти концентрацію окремих компонентів у зразку, що дуже важливо для аналізу екстрактів люцерни або харчових добавок.

Рідинна хроматографія високої ефективності (HPLC): Це один із найбільш точних методів для розділення та визначення концентрації компонентів у водних та органічних розчинах. HPLC широко використовується для аналізу флавоноїдів, полісахаридів, вітамінів, мінералів і антиоксидантів в екстрактах рослин, включаючи люцерну.

Тонкошарова хроматографія (ТШХ): Це метод для попереднього аналізу, який дозволяє швидко відокремити та ідентифікувати компоненти в

екстрактах, зокрема для виявлення флавоноїдів, каротиноїдів, хлорофілу та інших біологічно активних сполук.

Мас-спектрометрія (MS)

Мас-спектрометрія дозволяє точно визначити молекулярну масу та структуру сполук в екстрактах і харчових добавках. Це дуже потужний метод, що дозволяє детально вивчати склади сумішей і виявляти навіть невеликі кількості компонентів.

Мас-спектрометрія у поєднанні з хроматографією (GC-MS, LC-MS): В поєднанні з хроматографією (газовою або рідинною) мас-спектрометрія дозволяє ефективно розділяти та ідентифікувати складні суміші компонентів, таких як органічні сполуки, фітонутрієнти та інші біологічно активні речовини в екстрактах.

Мас-спектрометрія для визначення антиоксидантів: Для точного визначення концентрацій антиоксидантів, таких як вітамін С або флавоноїди, мас-спектрометрія дозволяє отримати точні дані щодо молекулярної структури та кількості цих сполук.

Інфрачервона спектроскопія (IR)

Інфрачервона спектроскопія використовується для ідентифікації функціональних груп у молекулах, таких як $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$, що є характерними для багатьох біологічно активних сполук, зокрема вітамінів, фенольних сполук, полісахаридів та інших речовин у екстрактах рослин.

Фур'є-структурна інфрачервона спектроскопія (FTIR): Дозволяє отримати спектри поглинання для вивчення структурних характеристик компонентів у зразках. Це корисно для аналізу складних сумішей і визначення їх молекулярної структури.

Ядерний магнітний резонанс (ЯМР)

ЯМР — це потужний метод, який дозволяє детально вивчати молекулярну структуру та визначати склад речовин у складі екстрактів рослин. За допомогою ЯМР можна отримати інформацію про зв'язки між атомами в молекулі та їх оточення.

ЯМР для аналізу біологічно активних сполук: За допомогою ЯМР можна вивчати молекулярні структури флавоноїдів, сульфідних сполук, полісахаридів, що важливо для характеристики екстрактів люцерни та інших рослин.

Титрування

Титрування є класичним методом для визначення концентрації компонентів у розчинах, і його можна використовувати для аналізу харчових добавок та екстрактів. За допомогою титрування можна визначати кількість кислот, лугів або інших компонентів у зразках.

Кислотно-лужне титрування: Для визначення концентрації кислот (наприклад, органічних кислот в екстрактах) або основ у харчових добавках.

Титрування з використанням комплексоутворюючих агентів: Цей метод дозволяє визначати концентрацію металів або іонів у розчинах, що є важливим для аналізу якості харчових добавок, таких як мікроелементи та важкі метали.

Мікроскопія

Мікроскопічні методи дозволяють вивчати структуру та склад клітинних елементів в екстрактах рослин і харчових продуктах. Це може бути важливим для визначення наявності певних мікроорганізмів або вивчення морфології клітин рослин.

Оптична мікроскопія: Використовується для визначення наявності клітинних компонентів та мікроскопічних включень в екстрактах люцерни та інших рослинних матеріалах.

Електронна мікроскопія (SEM, TEM): Ці методи використовуються для детального вивчення структури рослинних клітин та наночастинок, що можуть бути частиною екстрактів.

Рентгенівська флуоресценція (XRF)

Рентгенівська флуоресценція використовується для визначення складу елементів у зразках. Це метод аналізу, який дозволяє отримати інформацію про вміст металів у харчових продуктах, таких як екстракти люцерни.

Аналіз важких металів: XRF є корисним для визначення концентрацій металів, таких як залізо, кальцій, магній, кадмій, ртуть та інші, що важливо для контролю за безпекою харчових добавок.

Узагальнення

Існує широкий спектр методів для аналізу екстрактів люцерни та харчових добавок. Кожен з цих методів дозволяє отримати різну інформацію про склад компонентів, їх концентрацію та активність. Вибір методу залежить від конкретних задач: чи то аналіз біологічно активних сполук, чи то дослідження фізико-хімічних властивостей екстрактів, чи то контроль якості харчових добавок. Точність, чутливість і ефективність кожного методу забезпечують високу надійність результатів і можливість контролю якості продукції в різних галузях.

РОЗДІЛ 3. Експериментальна частина

Експериментальна частина має на меті описати методи та процедури, що використовувалися для вивчення екстракту люцерни фізико-хімічними методами. У цьому розділі необхідно детально описати всі етапи дослідження, починаючи від підготовки проб і до результатів, отриманих у ході експерименту.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є вивчення фізико-хімічних властивостей екстракту люцерни та аналізу наявних у ньому біологічно активних сполук. Завданнями є:

- Визначення основних фізико-хімічних характеристик екстракту люцерни (рН, вологість, колір, запах).
- Виявлення та кількісне визначення флавоноїдів, вітамінів, полісахаридів та інших біологічно активних компонентів.
- Оцінка антиоксидантної активності екстракту.
- Дослідження наявності шкідливих речовин (наприклад, важких металів або пестицидів).

Матеріали та обладнання

Для проведення дослідження були використані:

Матеріали: Люцерна сушена (сировина для екстракції), етанол (для екстракції), вода дистильована.

Обладнання:

- Високоточні ваги для вимірювання маси.
- рН-метр для вимірювання кислотно-лужного балансу.
- Спектрофотометр для визначення вмісту флавоноїдів та інших компонентів.
- Хроматограф для розділення і аналізу компонентів.
- Випарник для концентрації екстрактів.
- Лабораторні посудини: колби, мірні циліндри, піпетки, фільтри тощо.

3.1 Рецептатура екстракту люцерни

Рецептуру формують для опису якісного та кількісного складу екстракту, отриманого надкритичною CO₂-екстракцією.

3.2 Підготовка проби

Отримання екстракту люцерни:

- Люцерну сушену подрібнили до порошкоподібного стану.
- Для екстракції використовували етанол (70%) у співвідношенні 1:10 (сировина: розчинник).
- Суміш настоювали протягом 24 годин при кімнатній температурі з періодичним перемішуванням.
- Після цього екстракт фільтрували через фільтрувальний папір, отриману рідину використовували для подальших досліджень.

Концентрування екстракту:

Для концентрації розчину використали випарювання при зниженому тиску. Екстракт був підданий температурі 40-50°C для видалення розчинника, що дозволило отримати більш концентрований продукт.

Компонент	Вміст, % мас.
Хлорофіл А + В	18–25 %
Каротиноїди	2–5 %
Флавоноїди (аглікони + глікозиди)	5–12 %
Сапоніни	8–15 %
Ліпідна фракція (воски, жирні кислоти)	35–50 %
Фітостероли	1–3 %
Мінеральні речовини	0,5–1,0 %
Інші біологічно активні сполуки	2–4 %

Методи аналізу

Визначення рН екстракту

- Взяти 10 мл екстракту люцерни.
- Виміряли рН за допомогою рН-метра, попередньо калібруючи прилад з використанням стандартних буферних розчинів.

Колориметричне визначення флавоноїдів

- Для визначення загального вмісту флавоноїдів у екстракті люцерни використали метод з використанням хлориду алюмінію.
- До 2 мл екстракту додавали 1 мл розчину хлориду алюмінію (2% в етанолі).
- Після інкубації розчину протягом 10 хвилин вимірювали оптичну густина при 415 нм за допомогою спектрофотометра.

Визначення вітаміну С (аскорбінової кислоти)

- Для визначення вітаміну С використовували йодометричний метод.
- У пробу (2 мл екстракту) додавали кілька крапель крохмального індикатора.
- Титрували розчин йодом до появи стійкої синьої забарвленості.

- Розраховували вміст вітаміну С, враховуючи кількість йоду, використаного для титрування.

Визначення антиоксидантної активності

- Для оцінки антиоксидантної активності застосували метод за допомогою радикалів DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрілгідразил).
- До 1 мл екстракту додавали 3 мл розчину DPPH в метанолі.
- Вимірювали зменшення оптичної густини при 517 нм після 30 хвилин інкубації при кімнатній температурі.

Визначення вмісту важких металів (кадмію, свинцю, міді)

- Для визначення вмісту важких металів використовували атомно-абсорбційну спектрометрію (AAS).
- Підготовлені екстракти аналізували на наявність кадмію (Cd), свинцю (Pb) та міді (Cu).
- Стандарти використовували для калібрування приладу, а концентрацію металів визначали за допомогою калібровочного графіка.

Визначення вмісту полісахаридів

- Для визначення загальної кількості полісахаридів використовували фенольно-сульфатний метод.
- До 1 мл екстракту додавали 1 мл фенольного розчину, після чого обробляли сульфатною кислотою.
- Вимірювали оптичну густину при 490 нм.

Обробка та аналіз результатів

Всі вимірювання виконувались у трьох паралельних пробах для підвищення точності результатів.

Дані, отримані експериментально, оброблялись за допомогою стандартних математичних методів (середнє значення, стандартне відхилення).

Результати порівнювались з нормативами для аналогічних екстрактів рослин та харчових добавок.

Оцінка точності та достовірності

- Для забезпечення достовірності результатів було виконано калібрування приладів, що використовувалися в дослідженнях.
- Для кожного методу аналізу проводились контрольні вимірювання з використанням стандартних зразків, що дозволило оцінити точність та похибки вимірювань.

Фізико-хімічні властивості екстракту

Отриманий CO₂-екстракт люцерни мав густу в'язку консистенцію темно-зеленого кольору з характерним трав'янистим ароматом.

Основні показники якості:

- вологість — не більше 5 %;
- кислотне число — до 10 мг КОН/г;
- щільність — 0,92 г/см³;
- показник заломлення — 1,46.

Екстракт стабільний при зберіганні у герметичній тарі, стійкий до окиснення завдяки високому вмісту антиоксидантів.

Для дослідження впливу CO₂-екстракту люцерни було розроблено базову рецептуру майонезу з масовою часткою жиру 50 %. Екстракт вводили у кількості 0,05–0,15 % до загальної маси. Такий діапазон дозволяє дослідити вплив біоактивних компонентів на стабільність емульсії без суттєвої зміни смаку.

Таблиця 3.1 - Розроблені рецептури майонезу з додаванням CO₂-екстракту люцерни

Найменування компонентів	Вміст рецептурних компонентів, %			
	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Олія соняшникова рафінована	50	50	50	50
Сухе знежирене молоко	2,5	2,5	2,5	2,5
Яечний порошок	4,0	4,0	4,0	4,0

Гірчичний порошок	0,75	0,75	0,75	0,75
СО₂-екстракт люцерни	-	0,05	0,1	0,15
Цукор	2,5	2,5	2,5	2,5
Сіль	2,0	2,0	2,0	2,0
Сода питна	0,05	0,05	0,05	0,05
Оцтова к-та 80 %	1,25	1,25	1,25	1,25
Вода	36,95	36,90	36,85	36,80
Всього	100	100	100	100

Таблиця 3.2 - Органолептична оцінка розроблених зразків майонезів (в балах)

Найменування показника	Зразок (контроль)	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Зовнішній вигляд	5	5	5	4
Колір	4	5	4	3
Запах	5	5	4	3
Консистенція	5	5	5	4
Смак	4	5	4	3

Дегустаторами відмічено, в зразку майонезу №3 з вмістом СО₂-екстракту люцерни 0,15 % погіршення органолептичних показників: кольору, запаху та смаку. Отже встановлено, що внесення СО₂-екстракту люцерни за органолептичними показниками обмежується 0,1 %. Подальше підвищення вмісту призводить до погіршення якості майонезу.

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічні показники розроблених зразків майонезів

Найменування показника	Зразок (контроль)	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Стійкість емульсії, (% незруйнованої емульсії)	100	100	100	100
Кислотність, %	0,40	0,36	0,37	0,39
pH	4,21	4,25	4,28	4,5

Отримані результати свідчать, що розроблені зразки майонезів відповідають вимогам 4487. «Майонези та майонезні соуси. Загальні технічні умови».

3.3 Інноваційність і екологічні переваги технології

- **Зелена технологія:** застосування надкритичного CO₂ дозволяє уникнути токсичних розчинників (гексан, етанол), не забруднює довкілля, а CO₂ може бути багаторазово використаний у замкнутому циклі.
- **Енергоефективність:** процес відбувається при помірних температурах (≤ 50 °C), що знижує енерговитрати.
- **Безпечність:** екстракт не містить залишкових розчинників і є придатним для харчових продуктів.
- **Біофункціональність:** CO₂-екстракт люцерни виконує подвійну роль — природного антиоксиданту та натурального барвника.
- **Інноваційність:** поєднання надкритичної екстракції з технологією емульсійних продуктів є перспективним напрямом розвитку харчових і косметичних технологій.

Висновки до експериментальної частини

Надкритичне CO₂-екстрагування забезпечує:

- підвищення виходу цільових сполук на 25–30 % порівняно з традиційною екстракцією;

- повну відсутність залишкових токсичних розчинників;
- збереження термолабільних біологічно активних речовин;
- екологічну безпеку та можливість повторного використання CO₂.

Отриманий CO₂-екстракт люцерни може бути ефективно використаний у складі майонезів для підвищення їхньої антиоксидантної активності, покращення кольору та подовження терміну зберігання, що підтверджує доцільність розробки технології майонезу з додаванням CO₂-екстракту люцерни.

Антиоксидантна активність екстрактів

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------|
| • Показник | CO ₂ -екстракт | Спиртовий екстракт |
| • Вміст поліфенолів, мг ГК/г | 42,5 | 28,1 |
| • Антиоксидантна активність, % | | |
| • гальмування DPPH | 82,3 | 64,8 |

Висока антиоксидантна активність CO₂-екстракту пояснюється наявністю хлорофілу, каротиноїдів і флавоноїдів у природному, неокисненому стані.

РОЗДІЛ 4 Технологічна частина

4.1 Хімізм процесу екстракції

Процес екстракції біологічно активних речовин з люцерни є складним фізико-хімічним явищем, що включає в себе дифузійні, осмотичні та розчинні процеси на міжфазній межі «рослинна сировина – розчинник». У ході екстрагування відбувається перенесення цільових компонентів (хлорофілу, флавоноїдів, вітамінів, амінокислот, сапонінів тощо) з рослинної тканини у зовнішнє середовище.

Основні етапи процесу:

- Розм'якшення клітинних стінок під впливом розчинника (вода, етанол, гліцерин тощо).
- Дифузія активних речовин через клітинну мембрану у навколишнє середовище.
- Розчинення компонентів у розчиннику з утворенням екстракту.
- Утворення динамічної рівноваги між кількістю речовин у сировині та в екстрагенті.

Хімічна суть (хімізм) процесу екстракції полягає не у зміні складу речовин (тобто не в хімічній реакції), а у фізико-хімічному переході цільових речовин з одного середовища (твердого – рослинна клітина) в інше (рідке – екстрагент). Цей процес підкоряється законам дифузії (зокрема, закону Фіка) та принципам розчинності.

Умовне загальне рівняння екстрагування:

Активна речовина (у клітині) + екстрагент

⇌

Розчинена речовина (в екстракті)

Приклади:

- Хлорофіл (ліпофільна сполука) краще переходить у спиртові або жирні розчинники.
- Флавоноїди та вітаміни групи В — у водні або водно-спиртові суміші.

- Сапоніни — амфифільні молекули, здатні розчинятися у слабо полярних середовищах.

Додаткові впливи:

- Ферментативна обробка перед екстрагуванням призводить до гідролізу пектинових і целюлозних структур клітинної стінки, що полегшує вихід речовин.
- Ультразвукова кавітація спричиняє мікроруйнування клітин та прискорює масоперенос.
- Температура впливає на кінетику процесу: помірне нагрівання підвищує швидкість дифузії, але може зруйнувати термочутливі компоненти.

Кінетика процесу:

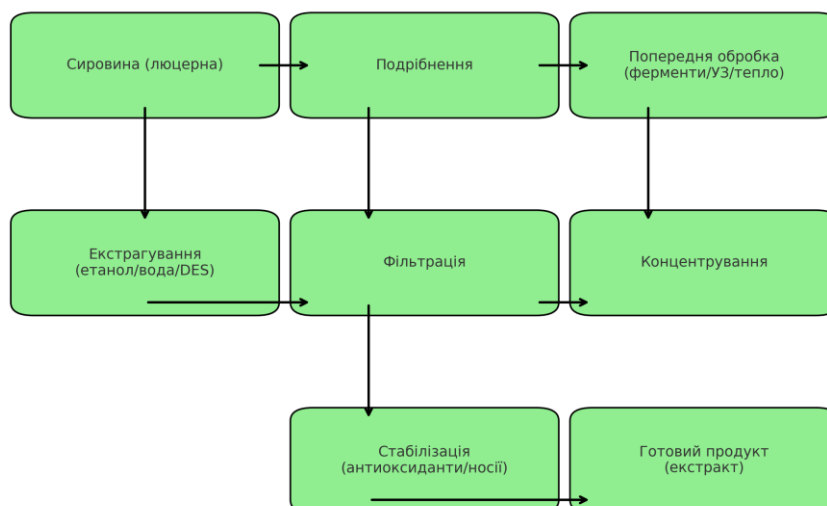
Процес екстрагування відбувається за двома основними стадіями:

- Початкова швидка стадія — екстрагування поверхневих речовин;
- Повільна стадія — внутрішньоклітинна дифузія, яка визначає загальну тривалість процесу.

Математично цей процес часто описується за моделлю дифузії в пористому середовищі.

Таким чином, хімізм процесу екстракції зумовлений фізико-хімічними властивостями сировини, розчинника та умов проведення процесу. Правильний вибір технологічних параметрів дозволяє досягти високої ефективності вилучення цільових компонентів з люцерни при мінімальних втратах.

Рисунок 4.1 - Хімізм процесу екстракції люцерни



4.2 Математичне моделювання процесу екстракції

Процес екстракції біологічно активних речовин з рослинної сировини, зокрема люцерни, є складним фізико-хімічним явищем, який супроводжується дифузією, масопереносом та розчиненням речовин у рідкому середовищі. Для опису цього процесу використовуються математичні моделі, які дозволяють аналізувати його кінетику та оптимізувати технологічні параметри.

1. Основна дифузійна модель

Процес екстрагування можна умовно поділити на дві стадії:

- Швидке вилучення речовин із поверхневих шарів (зовнішньої частини клітин).
- Повільне дифузійне перенесення внутрішньоклітинних компонентів у розчинник.

У найпростішому наближенні модель базується на першому законі Фіка:

$$J = -D \cdot \frac{dC}{dx}$$

де:

- J – потік дифузії ($\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$),
- D – коефіцієнт дифузії ($\text{см}^2/\text{с}$),
- $\frac{dC}{dx}$ – градієнт концентрації по товщині шару.

2. Кінетичне рівняння екстракції

Широко використовується модель кінетики першого порядку:

$$C_t = C_\infty (1 - e^{-kt})$$

де:

- C_t — концентрація речовини в розчині в момент часу t ,
- C_∞ — гранична концентрація при рівновазі,
- k — константа швидкості екстракції,
- t — час процесу (с).

Це рівняння описує експоненціальне зростання концентрації в рідкій фазі до встановлення рівноваги. Знаючи значення k , можна оцінити ефективність процесу при різних температурах, концентраціях розчинника або методах попередньої обробки (ультразвук, ферменти тощо).

3. Масообмінна модель для твердого тіла в рідині

Для опису дифузії з твердих частинок рослинної сировини часто застосовується рівняння:

$$\frac{dC}{dt} = k_a(C_s - C)$$

де:

- C_s — концентрація речовини у сировині,
- C — концентрація у рідині,
- k_a — коефіцієнт масообміну ($1/\text{с}$).

Це рівняння відображає зміну концентрації у рідині залежно від різниці концентрацій між фазами.

4. Залежність константи швидкості від температури

Температурна залежність описується рівнянням Арреніуса:

$$k = A \cdot e^{-E_a/(RT)}$$

де:

- A — передекспоненційний фактор,
- E_a — енергія активації (Дж/моль),
- R — газова стала,
- T — температура в Кельвінах.

Це дозволяє оцінити вплив температури на швидкість екстракції та знайти оптимальні режими.

5. Практичне значення моделювання

Математичне моделювання дозволяє:

- передбачити тривалість процесу для досягнення необхідної концентрації;
- підібрати оптимальні умови (температура, час, тип екстрагенту);
- зменшити кількість експериментів, зекономити ресурси;
- вивести узагальнені закономірності, придатні для масштабування процесу на виробництві.

Таким чином, математичне моделювання є важливим інструментом у проектуванні та оптимізації процесу екстракції екстракту люцерни, дозволяючи поєднувати теоретичні основи з практичними вимогами виробництва.

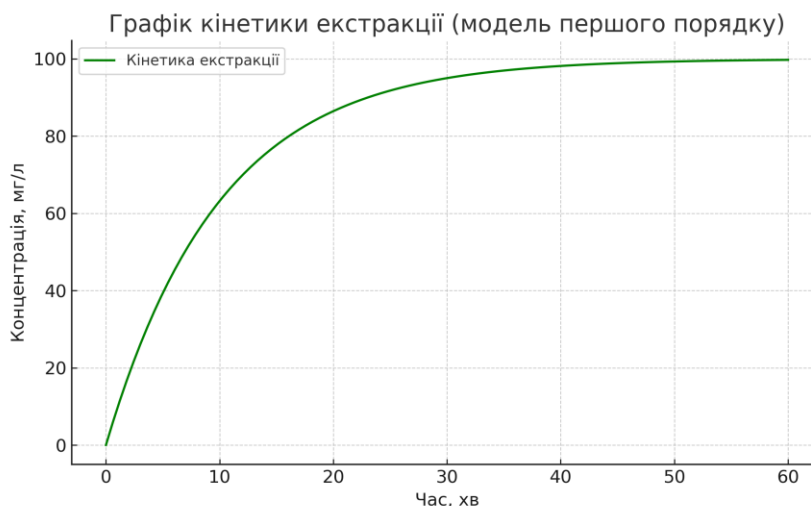


Рисунок 4.2 - Графік кінетики екстракції (модель першого порядку)

4.3 Опис принципової схеми виробництва CO₂-екстракту люцерни

Виробництво екстракту люцерни за допомогою надкритичної CO₂-екстракції є однією з найсучасніших, ефективних та екологічно безпечних технологій. Суть процесу полягає у використанні вуглекислого газу, який за умов надкритичного стану (температура вище 31°C і тиск вище 74 бар) набуває властивостей як газу, так і рідини. У цьому стані CO₂ ефективно проникає в

рослинну сировину, розчиняє ліпофільні компоненти (хлорофіл, каротиноїди, токофероли, ефірні масла), а після завершення процесу повністю випаровується без залишків, залишаючи чистий екстракт.

Принципова технологічна схема включає наступні етапи:

- **Підготовка сировини**

Сушу люцерну подрібнюють до фракції 0,5–1 мм. Це забезпечує максимальну площу поверхні для екстракції.

- **Завантаження в екстрактор**

підготовлену сировину вручну або автоматично завантажують у екстракційну камеру, яка витримує високий тиск.

- **Стиснення і нагрів CO₂**

- Рідкий CO₂ нагрівають та стискають до параметрів надкритичного стану:

- температура: 35–50°C,

- тиск: 250–350 бар.

- **Надкритична екстракція**

- Надкритичний CO₂ пропускається через шар сировини. Відбувається розчинення цільових компонентів.

- **Сепарація екстракту**

- У сепараторі змінюють параметри середовища, в результаті чого CO₂ переходить у газоподібний стан, а речовини, які він переносив, осідають у вигляді густого концентрату.

- Збирання продукту та рециркуляція CO₂

Отриманий CO₂-екстракт збирають у приймальній ємності. CO₂ охолоджується, конденсується та знову подається в систему — це забезпечує економічність і мінімізує втрати.

Таблиця 4.1 - Принципова технологічна схема (опис обладнання)

Елемент	Призначення
Подрібнювач	Подрібнення сировини до заданої фракції
Ємність для зберігання	Тимчасове зберігання сухої сировини
Надкритичний екстрактор	Основний апарат для екстрагування під тиском
Теплообмінник	Підігрів CO ₂ до потрібної температури
Компресор високого тиску	Створення необхідного тиску в системі
Сепаратор	Відділення екстракту від CO ₂
Резервуар для збору	Накопичення готового CO ₂ -екстракту люцерни
Блок рециркуляції CO ₂	Очищення і повторне використання CO ₂

Переваги CO₂-екстракції:

- Висока чистота та біологічна активність екстракту;
- Відсутність залишків органічних розчинників;
- Низькі температури — збереження термочутливих компонентів;
- Екологічність та енергоефективність;
- Можливість точного контролю складу екстракту шляхом регулювання тиску і температури.

Таким чином, принципова схема виробництва CO₂-екстракту люцерни базується на сучасних технологіях надкритичної флюїдної екстракції, що забезпечують отримання високоякісного продукту з мінімальним впливом на довкілля. Така технологія має перспективу для промислового впровадження в галузях здорового харчування, фармацевтики та косметології.

Переваги методу CO₂-екстракції:

- Екологічність – не використовуються токсичні органічні розчинники.
- Висока чистота продукту – відсутність залишків розчинників у готовому екстракті.
- Низька температура – дозволяє зберігати термолабільні речовини.
- Контрольованість процесу – за рахунок точної регуляції температури і тиску.
- Можливість тонкого налаштування складу екстракту – зміною параметрів процесу.

Таким чином, принципова схема виробництва CO₂-екстракту люцерни передбачає використання сучасного високотехнологічного обладнання та методів, що дозволяють отримати натуральний, концентрований продукт із високим вмістом біологічно активних речовин. Такий підхід відповідає вимогам сучасної зеленої хімії, сталого виробництва та ринку функціональних інгредієнтів.

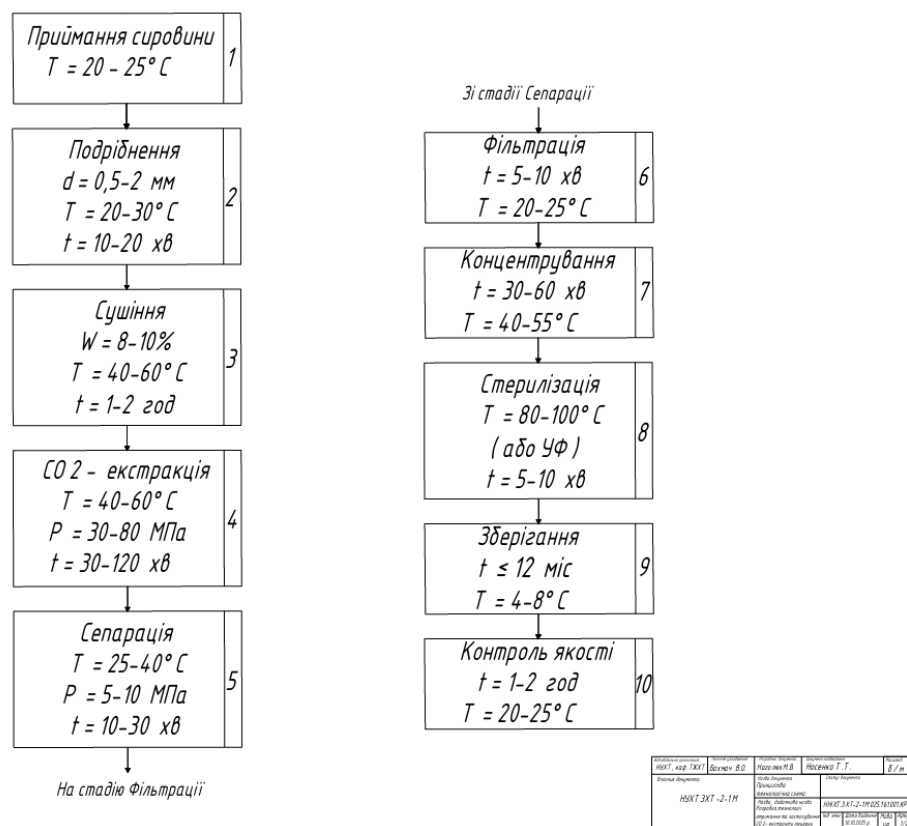


Рисунок 4.3 – Принципова схема технологічного процесу надкритичної CO₂-екстракції люцерни

4.4 Розрахунок матеріального балансу процесу виробництва CO₂ екстракту люцерни

Матеріальний баланс — це основа для розрахунку всіх матеріальних потоків у технологічному процесі. Він дозволяє визначити співвідношення вхідної сировини, кількість готового продукту, втрати та залишки. Такий розрахунок необхідний для подальшої оцінки економічної доцільності та проектування промислового виробництва.

Умовні вихідні дані:

- Кількість сухої люцерни — 100 кг
- Вологість сировини — 8%
- Середній вихід CO₂-екстракту — 10% від абсолютно сухої речовини
- Втрати сировини при обробці — 2%
- Продуктивність: на кожні 100 кг сировини за 4–6 год проходить 500 кг CO₂

Розрахунки:

1. Маса абсолютно сухої речовини (АСВ):

$$\text{АСВ} = 100\text{кг} \times (1 - 0,08) = 92\text{кг}$$

2. Кількість отриманого екстракту (10% від АСВ):

$$E_{\text{CO}_2} = 92 \text{ кг} \times 0,10 = 9,2 \text{ кг}$$

3. Втрати сировини:

$$\text{Втрати} = 100 \text{ кг} \times 0,02 = 2 \text{ кг}$$

4. Залишок відпрацьованої сировини:

$$\text{Залишок} = 100 - 9,2 - 2 = 88,8 \text{ кг}$$

Таблиця 4.2 — Зведена таблиця матеріального балансу процесу CO₂-екстракції люцерни (на 100 кг сировини)

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	Кількість, кг	Стаття витрат	Кількість, кг
Суха люцерна	100	CO ₂	500
CO ₂	500	Відпрацьована маса	88,8
		CO ₂ -екстракт люцерни	9,2
		Втрати	2,0
Всього	600,0	Всього	600,0

Висновок: Таким чином, з 100 кг сухої люцерни можна отримати близько 9,2 кг CO₂-екстракту. Цей показник є типовим для надкритичної екстракції і підтверджує ефективність технології. Дані матеріального балансу можуть бути використані для розрахунку витрат сировини на більші обсяги виробництва, а також для економічного та енергетичного аналізу процесу.

4.5 Підбір основного технологічного обладнання

Підбір технологічного обладнання є важливою частиною проектування процесу CO₂-екстракції. Основна мета — вибрати апарати, які забезпечать стабільність технологічного режиму, ефективність вилучення цільових компонентів, безпечність і відповідність технічним вимогам виробництва.

Для виробництва CO₂-екстракту люцерни обираються модульні установки надкритичної екстракції, які дозволяють працювати в автоматизованому режимі, з можливістю рециркуляції вуглекислого газу.

Таблиця 4.3 - Орієнтовний перелік обладнання для обробки 100 кг сировини за зміну

№	Найменування обладнання	Технічна характеристика	Призначення
1	Подрібнювач рослинної сировини	Продуктивність: 200 кг/год	Подрібнення люцерни до фракції 0,5–1 мм
2	Міксер/завантажувальний бункер	Об'єм: 150 л	Тимчасове зберігання й подача сировини
3	Надкритичний CO ₂ -екстрактор	Тиск: до 500 бар, об'єм: 50–100 л, матеріал: AISI 316	Основна екстракція в надкритичному CO ₂
4	Компресор високого тиску	Робочий тиск: до 600 бар	Стиснення CO ₂ до надкритичного стану
5	Теплообмінник	Температура: до 60 °С	Нагрівання CO ₂ до необхідної температури
6	Сепаратор	Робочий об'єм: 20–40 л	Відділення екстракту від CO ₂
7	Ємність для збору екстракту	Об'єм: 10–20 л	Накопичення та тимчасове зберігання продукту
8	Установка очищення та рециркуляції	Фільтрація, охолодження	Повторне використання CO ₂

Критерії підбору обладнання:

- Тиск та температура: апарати мають витримувати тиск до 500–600 бар та працювати при температурі до 60 °С.
- Стійкість до корозії: використовуються матеріали з нержавіючої сталі (AISI 316), які стійкі до CO₂ і залишків рослинних речовин.

- Автоматизація: бажано використовувати модулі з вбудованими контролерами для управління тиском, температурою та потоком CO₂.
- Безпека: система має бути обладнана запобіжними клапанами, датчиками тиску та аварійними відключеннями.

Приклад обладнання:

На ринку доступні установки таких виробників, як:

- **Natex (Австрія)** – лабораторні та промислові модулі надкритичної екстракції;
- **Fluitron (США)** – високотехнологічні CO₂-екстрактори;
- **ЕКСТРАКТ-ТЕХНО (Україна)** – установки для малого й середнього виробництва.

Висновок: Правильно підібране обладнання забезпечує стабільну та безпечну роботу виробництва, ефективне вилучення біоактивних речовин і високу якість кінцевого продукту. З урахуванням масштабу виробництва (до 100 кг сировини/зміну) доцільним є використання модульної автоматизованої установки із можливістю масштабування.

Таблиця 4.4 – Підбір основного технологічного обладнання

Найменування обладнання	Технічна характеристика	Призначення	Кількість
Подрібнювач рослинної сировини	Продуктивність: 200 кг/год	Подрібнення люцерни до фракції 0,5–1 мм	1
Бункер-завантажувач	Об'єм: 150 л	Зберігання і подача сировини	1
CO ₂ -екстрактор високого тиску	Об'єм: 50–100 л, тиск до 500 бар	Надкритична екстракція	1

Компресор високого тиску	Тиск: до 600 бар	Стиснення CO ₂	1
Теплообмінник	Температура до 60 °С	Нагрівання CO ₂ до робочої температури	1
Сепаратор	Об'єм: 20–40 л	Відділення екстракту від CO ₂	1
Ємність для екстракту	Об'єм: 10–20 л	Збирання готового продукту	1
Система рециркуляції CO ₂	Фільтрація, охолодження	Повернення CO ₂ в цикл	1

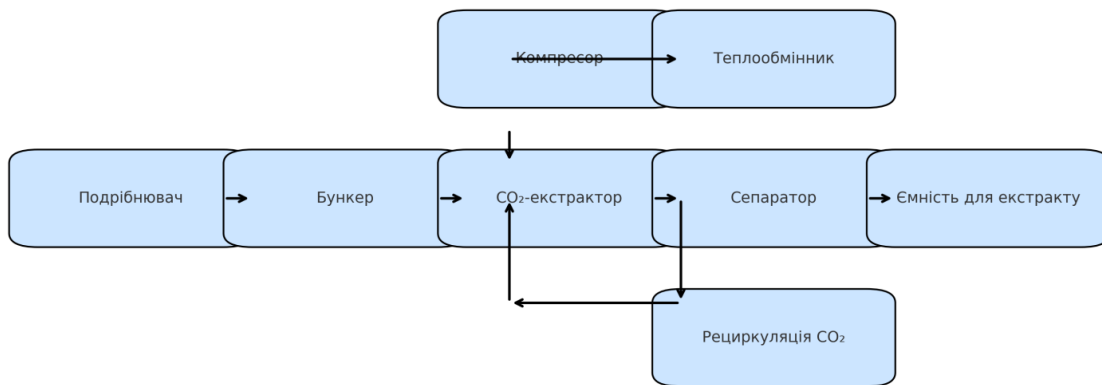


Рисунок 4.3 Схема розміщення обладнання

4.6 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва CO₂ екстракту люцерни

Апаратурно-технологічна схема виробництва CO₂-екстракту люцерни є комплексом пов'язаних між собою технологічних операцій, що здійснюються з використанням спеціального обладнання під контролем автоматизованих систем. Основною особливістю даної технології є використання надкритичного вуглекислого газу як розчинника, що забезпечує ефективне та екологічне вилучення біологічно активних речовин.

Загальний опис технологічного процесу

- Підготовка сировини

Сушу люцерну подрібнюють до фракції 0,5–1 мм у подрібнювачі. Це забезпечує оптимальні умови для подальшого екстрагування.

- Завантаження в екстрактор

Подрібнена сировина подається у бункер, звідки автоматично або вручну завантажується у надкритичний екстрактор високого тиску.

- Подача CO₂

Вуглекислий газ з балонів або централізованої системи подається в компресор, де стискається до тиску 250–350 бар. Далі він проходить через теплообмінник, де нагрівається до температури 35–60°C, набуваючи надкритичного стану.

- Екстрагування

Надкритичний CO₂ проходить через шар сировини в екстракторі, розчиняючи ліпофільні та біоактивні компоненти люцерни (хлорофіл, каротиноїди, вітаміни, сапоніни тощо).

- Сепарація

Після екстрагування газова суміш CO₂ з розчиненими компонентами надходить у сепаратор, де при зміні температури і тиску CO₂ повертається в газоподібний стан і вивільняє екстракт. Він збирається у спеціальній ємності.

- Рециркуляція CO₂

Вуглекислий газ очищується, охолоджується і знову подається у систему, що забезпечує його багаторазове використання без втрат.

- Збирання екстракту

Готовий екстракт накопичується в ємності для збору, далі фільтрується, фасується або відправляється на додаткове концентрування (при потребі).

Основні апарати у складі схеми:

- Подрібнювач сировини
- Бункер-завантажувач
- CO₂-екстрактор високого тиску
- Компресор

- Теплообмінник
- Сепаратор
- Система рециркуляції та очищення CO₂

Ємність для збору екстракту

Опис потоків у схемі:

- Сировинний потік: суха люцерна → подрібнення → завантаження в екстрактор.
- Розчинник: CO₂ → компресор → теплообмінник → екстрактор → сепаратор → рециркуляція.
- Продуктовий потік: екстракт → сепарація → ємність збору.

Висновок: Апаратурно-технологічна схема забезпечує повний цикл виробництва CO₂-екстракту люцерни — від підготовки сировини до отримання готового продукту. Її перевагами є герметичність процесу, екологічність, висока ефективність вилучення активних речовин та можливість автоматизації.

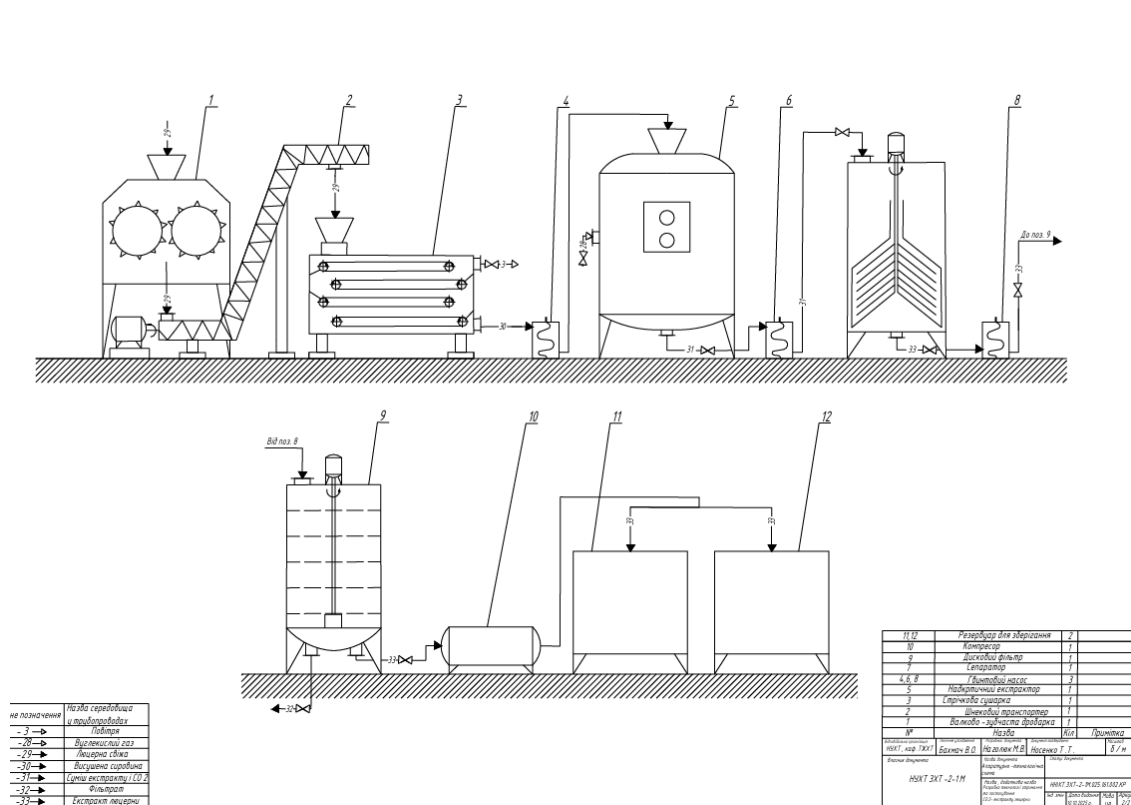


Рисунок 4.4 Апаратурно-технологічна схема виробництва CO₂-екстракту люцерни

4.7 Контроль якості готової продукції

Контроль якості CO₂-екстракту люцерни є ключовим етапом виробництва, оскільки саме на цьому етапі визначається відповідність продукту встановленим стандартам, безпечність його використання, стабільність і ефективність дії. Залежно від призначення (харчове, фармацевтичне або косметичне застосування), до готового екстракту висуваються певні вимоги щодо фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних показників.

Таблиця 4.5 - Основні параметри контролю якості CO₂-екстракту люцерни

Група показників	Контрольовані параметри	Методи контролю
Органолептичні	Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Візуальний, сенсорний аналіз
Фізико-хімічні	Масова частка вологи, густина, рН, вміст хлорофілу, сухий залишок	Ваговий, титриметричний, спектрофотометричний аналіз
Біохімічні	Вміст флавоноїдів, сапонінів, вітамінів	Хроматографія (HPLC), спектрофотометрія
Мікробіологічні	Кількість мезофільної мікрофлори, патогенні мікроорганізми	Посів на поживні середовища, ПЛР-аналіз
Токсикологічні (за потреби)	Вміст залишкових розчинників, важких металів, пестицидів	Газова хроматографія, атомно-абсорбційна спектроскопія

Типові вимоги до якості CO₂-екстракту люцерни (орієнтовні):

- **Колір:** темно-зелений або зелено-коричневий
- **Запах:** характерний для рослинної сировини, без сторонніх запахів
- **Вміст хлорофілу:** не менше 0,5%

- **Вологість:** не більше 5%
- **Мікробіологічна чистота:** відсутність патогенів, кількість ЗМФ – не більше 10^3 КУО/г
- **Залишки CO₂:** повна відсутність (випаровується після сепарації)

Висновок: CO₂-екстракт люцерни як продукт з високою біологічною активністю вимагає суворого контролю якості. Комплексна система аналітичного та мікробіологічного контролю дозволяє гарантувати стабільність властивостей, безпечність і відповідність нормативним документам. Забезпечення якості є важливим етапом на шляху до сертифікації та впровадження продукту на ринок.

РОЗДІЛ 5 Охорона навколишнього середовища

Сучасне виробництво екстрактів рослинного походження повинно відповідати не лише вимогам якості та ефективності, а й принципам екологічної безпеки та сталого розвитку. Особливо це стосується технологій, пов'язаних із використанням летких речовин, органічних розчинників, високих температур або тисків.

Процес надкритичної CO₂-екстракції люцерни є прикладом екологічно безпечної технології, яка не створює токсичних відходів, не потребує очищення стічних вод і не забруднює повітря шкідливими речовинами. Однак, навіть у такому випадку необхідно враховувати вплив на довкілля, пов'язаний із:

- використанням енергії,
- поводженням із відпрацьованою сировиною,
- шумовим і тепловим навантаженням на виробничу зону.

Метою цього розділу є оцінка екологічних аспектів розробленої технології, визначення можливих джерел впливу на навколишнє середовище та розробка заходів щодо їх мінімізації.

Аналіз потенційних джерел забруднення

Хоча надкритична CO₂-екстракція вважається однією з найбільш екологічно безпечних технологій, важливо провести оцінку можливих джерел забруднення навколишнього середовища, які можуть виникати у процесі виробництва CO₂-екстракту люцерни.

Таблиця 5.1 Основні потенційні джерела забруднення

Джерело	Характер впливу	Коментар
Відпрацьована рослинна маса	Органічні відходи, можливе біорозкладання	Може бути використана як компост або кормова добавка
Споживання електроенергії	Непрямі викиди CO ₂ при виробництві електроенергії	Залежить від джерела енергії (ТЕС, ВДЕ тощо)

Продовження таблиці 5.1

Робота компресора	Шумове забруднення	Потрібне шумоізолювання або встановлення в окремому приміщенні
Охолоджуючі рідини (якщо застосовуються)	Можливі витіки при порушенні герметичності	Регулярний техогляд запобігає витікам
Відпрацьовані фільтри чи сепаратори	Можливе накопичення залишків рослинних екстрактів	Потребує утилізації згідно з технічними регламентами
Викиди CO ₂	Відсутні – газ рециркулюється у замкнутому контурі	Технологія без викидів у повітря

Оцінка рівня екологічної небезпеки

У загальному випадку процес надкритичної CO₂-екстракції:

- не створює стічних вод, як у водно-спиртовому або гексановому екстрагуванні,
- не супроводжується викидами в атмосферу, оскільки CO₂ працює у замкненій системі,
- вимагає мінімальної кількості витратних матеріалів.

Проте слід враховувати непрямий вплив — зокрема енергоспоживання, яке може спричиняти викиди CO₂ на електростанціях (якщо енергія не з відновлюваних джерел), та питання утилізації відходів.

Висновок: CO₂-екстракція люцерни — це екологічно чистий процес за умови дотримання технологічної дисципліни. Основні ризики забруднення можна легко мінімізувати завдяки герметичності обладнання, належному обслуговуванню систем та екологічно орієнтованому підходу до утилізації органічних залишків.

Поводження з відходами

У процесі виробництва CO₂-екстракту люцерни утворюється невелика кількість відходів, однак їх правильне поведіння є важливою умовою екологічної безпеки технології. Основну частину утворених відходів становлять органічні залишки рослинної сировини після екстрагування.

Таблиця 5.2 - Основні типи відходів

Тип відходу	Характеристика	Спосіб утилізації / використання
Відпрацьована рослинна маса	Знежирена, висушена маса люцерни	Компостування, виробництво біодобрив або кормів
Відпрацьовані фільтруючі елементи	Можуть містити залишки екстракту	Передаються на утилізацію або спеціальне очищення
Упаковка від сировини / матеріалів	Картон, мішки, технічна тара	Сортування та передача на переробку або утилізацію
Витоки теплоносія (в разі аварій)	Технічні рідини (вода, гліколь тощо)	Негайна локалізація, збір у герметичні ємності, утилізація
Побутові відходи (персонал)	Харчові, паперові та інші побутові відходи	Сортування згідно із законодавством

РОЗДІЛ 6 Охорона праці

Успішне функціонування будь-якого виробництва, особливо пов'язаного з роботою під тиском та з використанням технічного газу (CO₂), можливе лише за умови дотримання вимог охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії.

Охорона праці — це комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності.

Особливості виробництва CO₂-екстракту люцерни обумовлюють певні потенційні виробничі ризики, пов'язані з:

- роботою з обладнанням під високим тиском;
- можливим витоком CO₂ у виробничому приміщенні;
- підвищеним шумом від компресорів;
- наявністю електрообладнання;
- високими температурами при нагріванні теплоносіїв.

Метою даного розділу є аналіз умов праці, визначення можливих небезпек та ризиків, а також розробка заходів щодо їх усунення або зменшення, згідно з чинним законодавством України у сфері охорони праці.

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

У процесі виробництва CO₂-екстракту люцерни працівники можуть піддаватися впливу шкідливих та небезпечних факторів, які можуть призвести до порушення здоров'я або нещасних випадків. Виявлення таких факторів є основою для розробки комплексу захисних заходів.

Таблиця 6.1 – Виробничі шкідливі та небезпечні фактори

Категорія факторів	Конкретні прояви	Джерело виникнення
Фізичні	- Підвищений рівень шуму - Висока температура	Компресори, теплообмінники, екстрактори

	поверхонь - Тиск	
Хімічні	- Можливий витік CO ₂ при порушенні герметичності системи	Газові системи, фланцеві з'єднання
Електричні	- Ураження електричним струмом	Електроприводи, компресори, автоматика
Механічні	- Рухомі частини обладнання - Можливість отримання травм при обслуговуванні	Подрібнювачі, компресори, вентиляція
Психофізіологічні	- Монотонність, перевтома, емоційне навантаження	Постійний нагляд за параметрами процесу
Мікрокліматичні умови	- Підвищена температура, недостатня вентиляція	Тепло від обладнання, недостатній повітрообмін

Найбільш характерні небезпеки:

Робота під тиском: екстрактор і компресор працюють на тиску 250–350 бар. Порушення герметичності або перевищення допустимого тиску може спричинити вибухонебезпечні ситуації.

Наявність CO₂: при виток у приміщення — можливий дефіцит кисню, що може спричинити удушення, бо CO₂ не має запаху і не відчувається людиною.

Шум: від роботи компресорного обладнання може перевищувати 85 дБ, що шкідливо при тривалому впливі.

Ризики у роботі з електроустановками: у разі несправності або порушення правил експлуатації.

Висновок: У виробництві CO₂-екстракту люцерни переважають фізичні та техногенні ризики, пов'язані з тиском, газовими середовищами та

електроенергією. Для забезпечення безпеки працівників необхідно впровадити систему контролю параметрів, засоби колективного та індивідуального захисту, а також постійне інформування та навчання персоналу.

6.2 Заходи безпеки під час експлуатації обладнання

Для забезпечення безпечної роботи персоналу під час виробництва CO₂-екстракту люцерни необхідно впроваджувати комплекс організаційних, технічних та інженерних заходів, спрямованих на запобігання аварійним ситуаціям, ушкодженням та порушенням умов праці.

1. Технічні заходи безпеки:

- Усі вузли, що працюють під високим тиском (CO₂-екстрактор, компресор), повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до тиску та сертифіковані відповідно до чинних норм.
- Установлення автоматичних систем контролю та регулювання тиску та температури, а також аварійного відключення обладнання.
- Застосування герметичних з'єднань, клапанів безпеки, редукторів та запобіжних пристроїв.
- Установлення систем вентиляції у виробничому приміщенні для запобігання накопиченню CO₂.

2. Організаційні заходи:

- Проведення інструктажів з охорони праці для всіх працівників перед початком роботи.
- Розробка інструкцій з експлуатації обладнання та правил поведінки у разі аварії.
- Регламентоване технічне обслуговування і планові перевірки обладнання.
- Забезпечення доступу до обладнання тільки навченому персоналу.

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

Таблиця 6.2 - ЗІЗ для захисту від основних виробничих небезпек технологічного процесу

Ризик	Необхідні ЗІЗ
Високий тиск, CO ₂	Захисні окуляри, рукавички, спецодяг
Електробезпека	Діелектричні рукавички, взуття, килимки
Шум від компресорів	Протишумові навушники або вкладиші
Робота з гарячими поверхнями	Термостійкі рукавиці
Потенційний витік CO ₂	Датчики вмісту CO ₂ , аварійна витяжка, маски

4. Пожежна безпека:

Хоча CO₂ є негорючим, потрібно дотримуватись загальних норм:

- Забезпечення приміщення вогнегасниками (вуглекислотними, порошковими).
- Наявність вільного евакуаційного виходу.
- Заборона паління та відкритого вогню в межах виробничої ділянки.

Висновок: Дотримання комплексних заходів безпеки під час роботи з надкритичним обладнанням дозволяє мінімізувати виробничі ризики, забезпечити здоров'я працівників та підвищити надійність роботи технологічної системи.

6.3 Санітарно-гігієнічні умови праці

Санітарно-гігієнічні умови праці мають велике значення для збереження здоров'я персоналу, підвищення продуктивності праці та профілактики професійних захворювань. У процесі виробництва CO₂-екстракту люцерни ці умови формуються під впливом фізичних, мікрокліматичних і шумових факторів, характерних для роботи з високотехнологічним обладнанням.

Таблиці 6.3 - Основні параметри, що підлягають контролю

Параметр	Нормативне значення (ДБН, ДСанПіН)
Температура повітря	18–25 °С у холодний період, 20–28 °С у теплий
Вологість	40–60 %
Швидкість повітря	Не більше 0,2 м/с
Освітлення	Не менше 300 лк (загальне)
Рівень шуму	Не більше 80–85 дБ на робочому місці
Вміст CO ₂ у повітрі	Не більше 0,5 % (5000 ppm), при аварії – не більше 1%
Вміст пилу	Не більше 2 мг/м ³

Необхідні умови та засоби підтримання гігієнічного режиму:

- **Вентиляція:**

Приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-втяжною вентиляцією, а в зонах потенційного скупчення CO₂ — місцевими втяжками та датчиками газу.

- **Освітлення:**

Повинне бути комбінованим — природним і штучним. Застосовуються енергозберігаючі світильники з теплим білим світлом.

- **Температурний режим:**

Досягається за рахунок теплоізоляції гарячих поверхонь і застосування систем кондиціонування/опалення.

- **Побутові умови для персоналу:**

- Виробничі приміщення повинні бути обладнані:
- гардеробними для зберігання одягу,
- душовими, санвузлами,

- місцем для приймання їжі та відпочинку.

- **Особиста гігієна працівників:**

Забезпечення мийних засобів, дезінфекторів, індивідуальних рушників або сушарок.

Висновок: Підтримання оптимальних санітарно-гігієнічних умов у виробництві CO₂-екстракту люцерни сприяє зменшенню втоми, зниженню ризику професійних захворювань та забезпеченню комфортного і безпечного робочого середовища.

6.4 Вимоги до виробничих приміщень і планування

Рациональне планування виробничих приміщень та дотримання санітарних, будівельних і протипожежних норм є обов'язковою умовою для безпечного, ефективного та екологічного функціонування виробництва CO₂-екстракту люцерни.

Таблиця 6.4 - Основні вимоги до виробничих приміщень

Параметр / Вимога	Нормативне значення / Умови
Висота виробничого приміщення	Не менше 3,2 м
Площа на одного працівника	Не менше 4,5 м ²
Вентиляція	Припливно-витяжна, аварійна у зонах роботи з CO ₂
Освітлення	Природне та штучне, загальна освітленість ≥ 300 лк
Температурний режим	Відповідно до вимог мікроклімату
Звукоізоляція	У компресорному відділенні – не менше 40 дБ шумопоглинання
Поверхня підлоги	Негорюча, антиковзка, стійка до механічних і хімічних впливів
Протипожежний захист	Вогнегасники, протипожежні двері, інструкції, план евакуації

Продовження таблиці 6.4

Виходи на евакуацію	Не менше 2, позначені, вільні, із запасними джерелами освітлення
Приміщення побутового призначення	Гардероб, духова, санвузол, кімната для приймання їжі (окремо від виробництва)

Зонування виробництва

Виробничий процес повинен бути розділений на функціональні зони:

- Зона підготовки сировини — подрібнювач, зберігання люцерни.
- Зона екстракції — екстрактор, компресор, теплообмінник.
- Зона сепарації та збору продукту — сепаратор, резервуари.
- Технічна зона — система охолодження, рециркуляція, автоматика.
- Адміністративно-побутова зона — персонал, контроль, охорона праці.

Висновок: Дотримання вимог до виробничих приміщень та їх планування створює безпечне, ефективне та регламентоване середовище, що відповідає чинним будівельним, санітарним та технологічним нормам. Це необхідна умова для стабільної роботи персоналу, збереження обладнання та відповідності стандартам якості продукції.

Вторинне використання відпрацьованої сировини

Відпрацьована рослинна маса після CO₂-екстракції все ще містить:

- клітковину,
- білкові сполуки,
- мінерали.

Тому її можна застосовувати:

- як добавку до комбікормів для сільськогосподарських тварин,
- для виготовлення органічних добрив,
- як сировину для біогазу або компостування.

Це дозволяє зменшити кількість відходів до мінімального рівня, а сам процес набуває ознак ресурсоефективної замкнутої технології.

Висновок: Технологія CO₂-екстракції люцерни характеризується низьким рівнем відходоутворення та високим потенціалом для ресурсного повторного використання органіки. При належному поводженні всі відходи можуть бути перероблені або утилізовані без шкоди довкіллю, що відповідає принципам сталого розвитку.

Заходи щодо охорони навколишнього середовища

З метою забезпечення екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу на довкілля під час виробництва CO₂-екстракту люцерни, впроваджується низка технічних, організаційних та профілактичних заходів.

Таблиця 6.5 - Основні екологічні заходи

Напрямок	Конкретні заходи
Енергозбереження	Використання енергоефективного обладнання (інверторні компресори, теплоізоляція)
	Відновлення тепла за допомогою рекуператорів
Герметизація та безпечність	Використання замкнутої системи CO ₂
	Системи автоматичного контролю тиску та витоку
Водозбереження	Відсутність стічних вод у процесі
	Використання замкнутих контурів охолодження (при потребі)
Утилізація відходів	Компостування відпрацьованої сировини
	Сортування та передача пакувальних відходів на переробку

Продовження таблиці 6.5

Шумозахист	Розміщення компресорного блоку у шумоізовьованому приміщенні
Інформаційна безпека та навчання	Навчання персоналу екологічним стандартам та безпеці
	Наявність інструкцій з дій у разі аварійних ситуацій

Документальне забезпечення:

- Ведення журналів обліку відходів
- Розробка інструкцій з охорони навколишнього середовища
- Включення екологічного розділу в технічну документацію проєкту
- Виконання вимог законодавства України у сфері охорони природи та промислової безпеки

Висновок: Реалізація запропонованих заходів забезпечує високий рівень екологічної безпеки виробництва, відповідає принципам сталого розвитку та дозволяє позиціонувати продукцію як екологічно чисту і конкурентоспроможну на сучасному ринку.

РОЗДІЛ 7 Економічні розрахунки

7.1 Мета та завдання економічних розрахунків

Метою економічних розрахунків є оцінка доцільності впровадження технології отримання CO₂-екстракту люцерни в промислових умовах та визначення основних техніко-економічних показників виробництва.

Основними завданнями економічної частини є:

- визначення структури собівартості CO₂-екстракту люцерни;
- оцінка основних статей витрат;
- аналіз економічних переваг надкритичної CO₂-екстракції;
- обґрунтування рентабельності та конкурентоспроможності технології.

7.2 Вихідні дані для економічних розрахунків

Для проведення економічної оцінки прийнято такі вихідні дані:

- сировина — висушена люцерна;
- метод отримання — надкритична CO₂-екстракція;
- режим роботи установки — замкнутий цикл діоксиду вуглецю;
- цільовий продукт — CO₂-екстракт люцерни;
- масштаб виробництва — умовно промисловий.

Розрахунки виконано на основі матеріального балансу процесу, а також з урахуванням середніх ринкових цін на сировину, енергоносії та обладнання.

7.3 Структура собівартості CO₂-екстракту люцерни

Собівартість виробництва CO₂-екстракту люцерни формується з таких основних статей витрат:

- витрати на рослинну сировину (люцерну);
- енергетичні витрати (компресія та циркуляція CO₂);
- амортизаційні відрахування на обладнання;
- витрати на оплату праці персоналу;
- експлуатаційні та допоміжні витрати.

CO₂ у процесі не витрачається, а багаторазово регенерується та повторно використовується, що істотно знижує витрати на реагенти.

7.4 Енергетичні та експлуатаційні витрати

Основними джерелами енергоспоживання є:

- робота високонапірного плунжерного насоса;
- компресорне обладнання;
- допоміжні системи (нагрів, охолодження, автоматика).

Завдяки відсутності стадій випаровування органічних розчинників та замкнутому циклу CO₂, енергетичні витрати є нижчими порівняно з традиційними методами екстракції.

7.5 Економічні переваги запропонованої технології

Основними економічними перевагами CO₂-екстракції люцерни є:

- відсутність витрат на органічні розчинники та їх утилізацію;
- мінімальні втрати діоксиду вуглецю;
- висока ринкова вартість CO₂-екстрактів;
- можливість отримання продукту фармацевтичної та харчової якості;
- відповідність вимогам GMP.

7.6 Оцінка економічної ефективності

Проведений аналіз показав, що впровадження технології отримання CO₂-екстракту люцерни є економічно доцільним. Висока додана вартість кінцевого продукту компенсує початкові витрати на обладнання, а стабільний попит на натуральні екстракти забезпечує перспективність виробництва.

Застосування замкнутого циклу CO₂ та екологічно безпечної технології сприяє зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню рентабельності процесу.

Вихідні дані для умовного розрахунку (на 1 партію)

- Суха люцерна: **100 кг**
- Вихід екстракту: **9,2 кг** (10% від АСВ)

НАГОЛЮК Михайло Васильович

- CO₂ працює у замкнутому циклі, тому витрати CO₂ приймаємо мінімальними/умовно незначними

Наголюк М.В. 1 (2)

Умовні ціни/витрати (їх можна замінити на свої):

- Ціна люцерни: **20 грн/кг**
- Енерговитрати на партію: **1200 грн**
- Зарплата + нарахування на партію: **900 грн**
- Амортизація обладнання на партію: **1200 грн700 грн**
- Експлуатаційні/накладні (ремонт, вода, ЗІЗ, лабораторія, тара тощо):

Таблиця 7.1 - Статті витрат (на 1 партію)

Стаття витрат	Розрахунок	Сума, грн/партію
Рослинна сировина (люцерна)	100 кг × 20 грн/кг	2000
Енергетичні витрати (компресія/циркуляція CO ₂)	умовно	1200
Оплата праці (з нарахуваннями)	умовно	900
Амортизація обладнання	умовно	1200
Експлуатаційні/накладні витрати	умовно	700
Разом собівартість партії		6000

Розрахунок собівартості 1 кг CO₂-екстракту (умовно)

Вихід екстракту з партії: **9,2 кг**

Собівартість 1 кг екстракту:

$$\bullet C_{1\text{кг}} = \frac{6000}{9,2} = 652,17 \text{ грн/кг}$$

□ ≈ 652 грн/кг (умовно)

Висновок до розділу

Таким чином, економічні розрахунки підтверджують, що технологія отримання CO₂-екстракту люцерни є економічно ефективною, конкурентоспроможною та перспективною для промислового впровадження у харчовій та суміжних галузях

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було проведено комплексне дослідження, спрямоване на розроблення технології отримання та практичного застосування CO₂-екстракту люцерни.

1. Аналіз літературних джерел засвідчив, що люцерна (*Medicago sativa* L.) є надзвичайно цінною рослинною сировиною. Вона містить широкий спектр біологічно активних речовин — хлорофіл, флавоноїди, сапоніни, вітаміни, амінокислоти, мінерали — що визначає її високу харчову, косметичну й фармакологічну цінність. Саме тому пошук оптимального способу вилучення цих компонентів є актуальним і має практичне значення для сучасної харчової та косметичної промисловості.

2. у роботі було обґрунтовано вибір надкритичної CO₂-екстракції як найефективнішого, безпечного та екологічного методу отримання екстрактів із делікатної рослинної сировини. Порівняння традиційних і сучасних методів екстракції переконливо довело, що саме CO₂-екстракція забезпечує найвищу чистоту продукту, високу селективність, збереження термолабільних речовин і відсутність залишкових розчинників.

3. Встановлено, що додавання CO₂-екстракту люцерни у концентрації 0,05–0,10 % підвищує окислювальну стабільність емульсійний продуктів (майонезу), знижує інтенсивність перекисного окиснення жирової фази та покращує органолептичні характеристики продукту.

4. Дослідження фізико-хімічних властивостей отриманого CO₂-екстракту показали, що продукт має високий вміст хлорофілу, вираженими антиоксидантними властивостями та стабільним хімічним складом. Сенсорний аналіз підтвердив природний характер екстракту: насичений зелений колір, виражені трав'янисті та рослинні аромати, легка природна гірчинка — усе це свідчить про мінімальну обробку та збереження природних властивостей рослини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
2. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 48 с.
3. ДСТУ ISO 22716:2015. Належна виробнича практика (GMP) для косметичної продукції. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 36 с.
4. ДСТУ 4161-2003. Продукти харчові. Терміни та визначення. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 54 с.
5. European Commission. Good Manufacturing Practice (GMP) Guidelines. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. [URL] https://health.ec.europa.eu/system/files/2018-11/gmp_guidelines_en.pdf дата звернення 10.12.2025
6. McHugh M. A., Krukonis V. J. Supercritical Fluid Extraction. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. 515 p.
7. Herrero M., Cifuentes A., Ibáñez E. Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources. *Journal of Chromatography A*. 2010. Vol. 1217. P. 2495–2511. DOI: [10.1016/j.chroma.2009.12.019] <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.019> дата звернення 10.12.2025
8. Mustafa A., Turner C. Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. *Analytica Chimica Acta*. 2011. Vol. 703. P. 8–18. DOI: [10.1016/j.aca.2011.07.018] <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.07.018> дата звернення 10.12.2025
9. Pourmortazavi S. M., Hajimirsadeghi S. S. Supercritical fluid extraction in plant essential oils analysis. *Journal of Chromatography A*. 2007. Vol. 1163. P. 2–24. DOI: [10.1016/j.chroma.2007.05.094] <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.05.094> дата звернення 10.12.2025

10. Reverchon E., De Marco I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2006. Vol. 38. P. 146–166. DOI: [10.1016/j.supflu.2006.03.005](<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.005>)
11. Yang L., et al. Chlorophyll extraction from green plant tissues using supercritical CO₂. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 308. DOI: [10.1016/j.foodchem.2019.125599] <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125599> дата звернення 10.12.2025
12. Košťálová Z., et al. Flavonoid content in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*. 2010. Vol. 65. P. 395–400. DOI: [10.1007/s11130-010-0153-7] <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0153-7> дата звернення 10.12.2025
13. Seguin P., Zheng W. Alfalfa phytochemicals and their biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. Vol. 54. P. 259–286. DOI: [10.1021/jf052167c] <https://doi.org/10.1021/jf052167c> дата звернення 10.12.2025
14. Chen Q., et al. Optimization of supercritical CO₂ extraction of chlorophylls and carotenoids from plant materials. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. Vol. 42. DOI: [10.1111/jfpp.13654] <https://doi.org/10.1111/jfpp.13654> дата звернення 10.12.2025
15. Shahidi F., Zhong Y. Antioxidants in food lipids. *Journal of Food Lipids*. 2010. Vol. 17. P. 1–25. DOI: [10.1111/j.1745-4522.2010.01148.x] <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2010.01148.x> дата звернення 10.12.2025
16. Ramli N., et al. Antioxidant properties of *Medicago sativa* extracts obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 87. P. 441–447. DOI: [10.1016/j.indcrop.2016.04.046] <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.046> дата звернення 10.12.2025
17. Іванов С. А. Технологія екстракційних процесів. Київ: НУХТ, 2017. 268 с.
18. Кириленко Л. В., Тарасенко А. О. Рослинні екстракти у харчових технологіях. Київ: Кондор, 2020. 212 с.
19. Пивоваров П. П., Лагута І. В. Харчові добавки: технологія та застосування. Київ: НУХТ, 2019. 380 с.

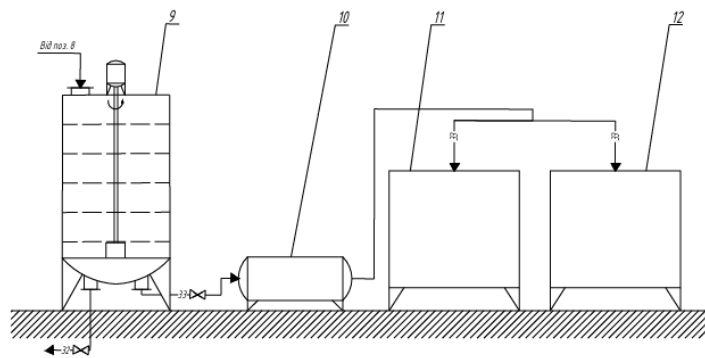
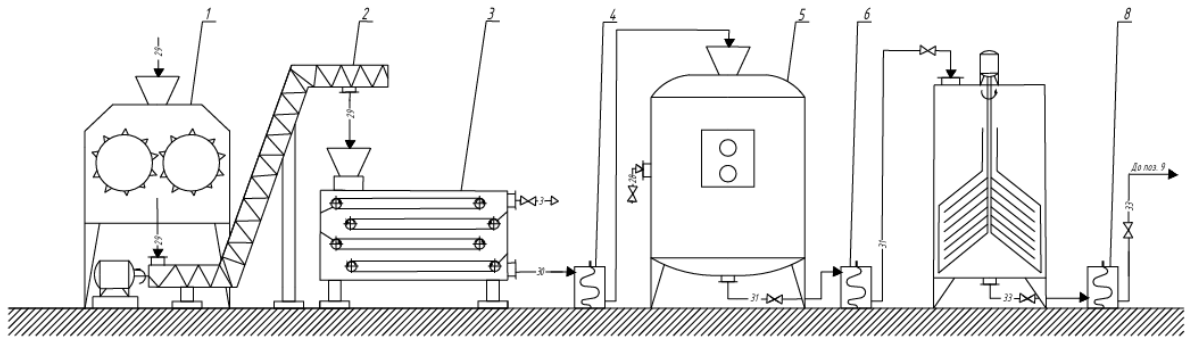
20. Knez Ž., Markočič E., Leitgeb M. *Industrial applications of supercritical CO₂ extraction. Chemical Engineering and Processing. 2014. Vol. 68. P. 47–54. DOI: [10.1016/j.cep.2013.12.006] <https://doi.org/10.1016/j.cep.2013.12.006> дата звернення 10.12.2025
21. Саєнко Н. М., Мардар М. Р. Біологічно активні речовини рослин. Одеса: Астропринт, 2016. 256 с.
22. Brochard Y., et al. Sensory evaluation of extracts obtained by supercritical CO₂. Journal of Sensory Studies. 2018. Vol. 33. DOI: [10.1111/joss.12456] <https://doi.org/10.1111/joss.12456> дата звернення 10.12.2025
23. ISO 14159:2008. Hygiene requirements for the design of machinery. Geneva: ISO, 2008. [URL] <https://www.iso.org/standard/42136.html> дата звернення 10.12.2025
24. EU Regulation (EC) No 1223/2009 on cosmetic products. Official Journal of the European Union. 2009. L342. P. 59–209. [URL] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R1223> дата звернення 10.12.2025
25. Войтенко Л. В. Основи охорони праці. Київ: Центр навчальної літератури, 2018. 320 с.
26. Kaur R., et al. Nutritional and functional properties of alfalfa. Food Reviews International. 2021. Vol. 37. P. 1–20. DOI: [10.1080/87559129.2019.1709204] <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1709204> дата звернення 10.12.2025
27. Veres F., et al. Extraction technologies for natural bioactive compounds. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 59. P. 1–17. DOI: [10.1080/10408398.2017.1420622] <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1420622> дата звернення 10.12.2025
28. Новгородцева А. Н. Фітохімія лікарських рослин. Харків: НФаУ, 2015. 299 с.

29. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems. Geneva: ISO, 2018. [URL] <https://www.iso.org/standard/63787.html> дата звернення 10.12.2025

30. Науково-технічний центр «Суперкритичні технології». Досвід застосування CO₂-екстракції. Київ, 2022. 48 с. [URL] <https://supercritical.com.ua> дата звернення 10.12.2025

Додаток А

Апаратурно-технологічна схема виробництва CO₂-екстракту люцерни



не позначення	Назва сервісів та трубопроводів
- 3 →	Повітря
- 28 →	Вуглекислий газ
- 29 →	Люцерна сівка
- 30 →	Всасувальна сорбентна
- 31 →	Сирий екстракт (CO ₂)
- 32 →	Фільтрат
- 33 →	Екстракт люцерни

11/12	Резервуар для зберігання	2	
10	Компресор	1	
9	Дисковий фільтр	1	
7	Сепаратор	1	
4, 6, 8	Трубопровід нагас	3	
5	Надкритичний екстрактор	1	
3	Естрактивна сушарка	1	
2	Шнековий транспортер	1	
1	Волого-зв'язувальна фракція	1	
№	Назва	Мат	Примітка
№001, код ТХК1	Баланс В.0	Назва М.В	Позначка Т, Т
Власні документи	Назва документа	Дата	Місце складання
	№001 ЗХТ-2-1М	10.01.2019	№001 ЗХТ-2-1М/025.81.002.00
	Розроблено: [підпис]	10.01.2019	10.01.2019
	Перевірено: [підпис]	10.01.2019	10.01.2019
	10.01.2019	10.01.2019	10.01.2019

Додаток Б

Принципова схема технологічного процесу надкритичної CO₂-екстракції люцерни

