

67-72-67/1  
29.04.2021

**Відгук**  
**офіційного опонента**  
**доктора технічних наук, професора**  
**Вітенько Тетяни Миколаївни**  
**на дисертаційну роботу Федоришин Ольги Миколаївни**  
**«Механізм та кінетика екстрагування біологічно активних речовин з**  
**рослинної сировини»,**  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота Федоришин О.М. «Механізм та кінетика екстрагування біологічно активних речовин з рослинної сировини» присвячена актуальній на сьогодні темі пошуку альтернативних сировинних джерел БАР. Дисертанткою досліджені наукові основи одержання цінних продуктів органічного синтезу (фенольних сполук та флавоноїдів) з трьох видів рослинної сировини: відкасника безстеблевого (*Carlina acaulis*), календули лікарської (*Calendula officinalis*), косариків черепитчастих (*Gladiolus imbricatus*) на основі процесів екстракції. Встановлено вплив різних факторів на процес екстракції, обґрунтований вибір технологічних параметрів (розмір частинок твердої фази, концентрація екстрагенту, тривалість процесу) на вилучення БАР.

Досліджені кінетичні закономірності масообмінних процесів під час екстрагування БАР з рослинної сировини із врахуванням її морфологічної будови методом мацерації, в апараті Сокслета та в апараті з мішалкою. Визначено раціональні режими ведення процесу, визначені коефіцієнти дифузії через клітинну стінку, в міжклітинному просторі та коефіцієнт дифузії в екстрагенті.

У роботі автор торкається теми збереження популяції рідкісних рослин, які занесені до Червоної книги шляхом вирощування їх в умовах *in vitro*. Надалі вирощена у такий спосіб біомаса піддається комплексній переробці для отримання екологічно чистого цільового продукту, який являється цінною сировиною для хімічної, фармацевтичної, косметичної, харчової та інших галузей промисловості.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що вона виконувалась у рамках наукового напряму кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології: «Синтез, дослідження, технологія та біотехнологія нових органічних речовин і функціональних матеріалів, яким притаманні біологічна активність та комплекс інших практично цінних властивостей», в яких дисертант був виконавцем окремих розділів.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням сучасної методології досліджень (зокрема, теоретично обґрунтованих методів математичного моделювання та обчислювальних алгоритмів, відомих методів комп'ютерного моделювання та експериментальних методів дослідження), коректністю поставлених задач, що розв'язуються, задовільною збіжністю результатів теоретичних положень та експериментальних результатів. Достовірність висновків і рекомендацій практичного характеру підтверджується використанням апробованих методик,



обґрунтованим обсягом експериментальних досліджень та комп'ютерних експериментів, задовільною збіжністю з даними інших авторів.

Таким чином, ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій не викликає сумнівів.

**Наукова новизна дисертаційних досліджень.** У дисертаційній роботі отримані нові результати, які доповнюють наукові розробки інших авторів із процесів та обладнання хімічної технології. Слід відмітити наступні положення новизни дисертації: досліджено кінетичні закономірності масообмінних процесів під час екстракційного вилучення фенольних сполук та флавоноїдів з рослинної сировини; встановлено, що з *Carlina acaulis*, *Calendula officinalis*, *Gladiolus imbricatus* для максимального вилучення БАР необхідно використовувати 70 % концентрацію водно-етанольної суміші.

Для різного виду органічної сировини запропоновано умови для одержання екстрактів: а) для *Carlina acaulis* – подрібнення коренів до 3 мм, 70% водно-етанольна суміш, співвідношення між сировиною та екстрагентом 1:10; б) для *Calendula officinalis* (екстракція фенольних сполук та флавоноїдів) – температура 40° С, час екстрагування 120 хв та співвідношення між сировиною та екстрагентом 1:10. Для ідентифікації жирних олій використано як екстрагент хлороформ та проведено мацерацією протягом 2-ох днів; в) для випадку з *Gladiolus imbricatus* оптимальні умови для одержання максимальної кількості екстрактивних речовин та суми флавоноїдів - це екстракція в апараті Сокслета протягом 6 год. (кожна екстракція) при співвідношенні сировина–екстрагент 1:10, як екстрагент 70 % водно-етанольна суміш. Досліджено кінетику екстракції фенольних сполук та флавоноїдів із подрібнених коренів *Carlina acaulis* з використанням 40 % та 70 % водно-етанольної суміші методом настоювання та в апараті з мішалкою.

#### **Практичне значення результатів дослідження.**

Узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень дало змогу встановити ймовірний механізм екстрагування, що базується на рівнянні кінетики процесу. Експериментальна перевірка цього рівняння проводилась екстрагуванням фенольних сполук та флавоноїдів з *Carlina acaulis* методом настоювання в апараті з мішалкою та в апараті Сокслета і показала позитивні результати.

Експериментально розроблено технологію одержання екстракту *Carlina acaulis* та запропоновано принципову технологічну та апаратурно-технологічну схему виробництва екстрактів, яку можна в подальшому використовувати для підготовки технологічного процесу виробництва. Науково обґрунтовані умови процесу екстракції за такими параметрами, як розмір частинок рослинної сировини, концентрація екстрагента та співвідношення сировина–екстрагент.

Запропоновані екстракти, які містять фенольні сполуки та флавоноїди, можна використовувати при виготовленні продуктів для хімічної, фармацевтичної, косметичної, харчової, хімічної та інших галузей вітчизняної промисловості.

Основні фрагменти дисертаційної роботи, результати досліджень впроваджені в навчальний процес кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка», кафедри організації та економіки фармації і технології ліків Івано-Франківського



національного медичного університету, кафедри біотехнології Національного фармацевтичного університету, кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та передано до використання в АТ «Галичфарм», Корпорація «Артеріум». Результати наукових досліджень були підтверджені на практиці в ТОВ «Компанія Універсальні Технології».

**Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки і практики.**

Отримані здобувачем результати мають важливе значення для науки, оскільки вони розширяють загальні наукові уявлення для одержання цінних продуктів органічного синтезу (фенольних сполук та флавоноїдів) на основі дослідження процесів екстракції та встановлення їх науково обґрунтованих умов.

Практична, економічна та екологічна значущість розробок здобувача обумовлена вирішенням важливої народногосподарської задачі – розширення сировинної бази продуктів органічного синтезу.

**Повнота викладення основних результатів в наукових фахових виданнях.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження повністю відображені у 6 наукових публікаціях, зокрема - 4 статті у наукових фахових виданнях України, статті у виданнях України, що входить у наукометричну базу Scopus; статті у наукових періодичних виданнях іншої держави. Серед друкованих праць дисертантки заслуговують на увагу публікації у журналах: «Науковому віснику НЛТУ України» та «Питання хімії та хімічної технології», в яких висвітлюються питання, присвячені вирішенню важливого науково-практичного завдання - дослідження процесу одержання фенольних сполук та флавоноїдів із рослинної сировини та оптимізації способів їх одержання з відкасника безстеблевого (*Carlina acaulis*), календули лікарської (*Calendula officinalis*), косариків черепитчастих (*Gladiolus imbricatus*), як потенційних лікарських засобів

**Зміст дисертації, її завершеність в цілому.** Дисертація викладена українською мовою на 164 сторінках. Робота ілюстрована таблицями, графіками, рисунками та додатками. Список використаних джерел складається із 202 найменувань.

Необхідно зауважити, що дана робота – це завершена науково-дослідна праця, яка складається з анотацій двома мовами, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми, сформульовано її актуальність, зв'язок роботи з науковими дослідженнями, мету та завдання дослідження, наукове та практичне значення одержаних результатів, визначено та охарактеризовано предмет, об'єкт та методи дослідження, подано інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів.

У першому розділі автором проведений літературний огляд основ екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини, описана характеристика рослинної сировини, приведено характеристику та описано вимоги до екстрагентів, які використано для екстрагування фенольних сполук та флавоноїдів з рослинної сировини, узагальнений та систематизований матеріал, який стосується екстрагування рослинної сировини, а саме, масообміну в системі тверде тіло – рідина. Сформульовано основні завдання, які необхідно вирішити



для досягнення поставленої мети, описані методи та типи обладнання для екстрагування.

Разом з тим багато зайвої інформації. Надто ретельно зроблений ботанічний опис об'єктів дослідження, їх популяції, періоди цвітіння і т. д. Для процесів і апаратів достатньо було б представлення їх остаточного вигляду з відповідним аналізом.

У другому розділі описані об'єкти дослідження, які можна було б об'єднати із характеристикою рослинної сировини, описаною в першому розділі. В розділі подані методики визначення біологічно активних речовин, які містяться у рослинній сировині, методики для проведення досліджень, що підтверджують якість одержаних екстрактів, методики вилучення цільової речовини з РС та дослідження кінетики екстрагування, визначення середнього розміру частинок досліджуваної сировини.

У третьому розділі наведені результати досліджень щодо якісного та кількісного вмісту різних груп біологічно активних речовин з відкащика безстеблового (*Carlina acaulis*), косариків черепитчастих (*Gladiolus imbricatus*), календули лікарської (*Calendula officinalis*). Подано результати експериментальних досліджень щодо умов екстрагування та одержання екстрактів із рослинної сировини, визначено закономірності впливу концентрації екстрагенту на повноту вилучення фенольних сполук та флавоноїдів.

Заслуговують на увагу результати щодо порівняння вмісту цільових компонентів у рослинній сировині й калусній біомасі. Дослідження екстрактів калусної біомаси *C. acaulis* показали, що вони мають високий вміст цінних біологічно активних речовин, які перевищують їхню кількість у рослинах, які виростають у природі. Такі екстракти пропонуються використовувати як сировину для подальших досліджень із створення фітопрепаратів з ранозагоювальними, протизапальними та противірусними властивостями, якими володіють фенольні сполуки та флавоноїди. Дослідження екстрактів насіння та калусної біомаси *Calendula officinalis* також показало вищий вміст фенольних сполук у порівнянні з екстрактом із природніх рослин на 20 %.

У четвертому розділі на основі експериментальних даних кінетики екстрагування *Carlina acaulis* та математичних моделей розраховані коефіцієнти масопереносу через клітинну стінку, коефіцієнт масовіддачі у міжклітинному просторі та в шарі екстрагенту, виведені кінцеві кінетичні рівняння екстрагування фенольних сполук і флавоноїдів та оцінено порядок коефіцієнтів дифузії через клітинну оболонку, у міжклітинному просторі та в об'ємі екстрагенту.

Автором представлено переконливий аналіз кінетики процесу екстракції фенольних сполук та флавоноїдів із подрібнених коренів *Carlina acaulis* з використанням 40 % та 70 % водно-етанольної суміші методом настоювання та в апараті з мішалкою. Визначено сумарне значення коефіцієнта масопереносу, а також значення коефіцієнта переносу через клітинну стінку, в міжклітинному просторі та в об'ємі екстрагента. Встановлено порядок коефіцієнтів дифузії фенольних сполук та флавоноїдів через клітинну мембрану  $D_c$ , в міжклітинному просторі  $D_m$  та в об'ємі екстрагента  $D_e$ .

Виведено аналітичну залежність коефіцієнта масопереносу  $k$  та числа вимивання  $A$  від розміру частинок твердої фази  $d$  та коцентрації екстрагента, що



дає можливість прогнозувати процес екстрагування та проєктувати обладнання для здійснення технологічного процесу на виробництві.

Виведено кінетичні рівняння процесу екстракції фенольних сполук та флавоноїдів з коренів *Carlina acaulis* методом настоювання та в апараті з мішалкою. Одержані рівняння дозволяють визначити концентрації фенольних сполук та флавоноїдів в екстрактах у певний момент часу при розмірі частинок твердої фази від 1 до 10 мм, а також визначити найоптимальніший діаметр частинок твердої фази для максимального вилучення цільової речовини.

Розрахунки та результати дослідів, узагальнені графічними залежностями зрозумілі і не викликають сумніву.

У п'ятому розділі на основі попередньо одержаних експериментальних даних процесу екстрагування описані основні стадії технології одержання настоянок із коренів *Carlina acaulis*, розроблені та запропоновані принципові технологічні схеми одержання настоянок із коренів *Carlina acaulis* методом настоювання та в апараті з мішалкою. Представлені критерії якості для настоянок із коренів *Carlina acaulis*. Запропонована автором принципова технологічна схема процесу одержання настоянок із коренів *Carlina acaulis* в апараті з мішалкою є контрольованою і автоматизованою, що забезпечує вихід якісного продукту. Представлено критерії якості для настоянок із коренів *Carlina acaulis*. Отримані настоянки мають високі органолептичні характеристики, високий вміст сухих речовин, що вказує на ефективну екстракцію, низький рН та кислотність.

Висновки містять основні результати досліджень, які викладені достатньо повно. Список використаних джерел літератури відображає найбільш значущі наукові роботи, пов'язані безпосередньо з тематикою дисертації.

#### **Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату.**

Дисертаційну роботу викладено стилістично та граматично правильно. Наукова термінологія, що використана в роботі, є загальноживаною, стиль викладу результатів теоретичних та практичних досліджень, висновків та рекомендацій забезпечує їх сприйняття та використання. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567.

#### **Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації.**

Зміст автореферату повністю відповідає розділам дисертації та її основним положенням. Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати.

Дисертація містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Тематика досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.**

Позитивно оцінюючи в цілому виконану роботу, вважаю необхідним відзначити наступні зауваження:

1. Робота насичена умовними скороченнями, рисунками, окремі з яких можна було б додатково винести в додатки.



2. У першому розділі наведений детальний опис об'єктів дослідження, приведено характеристику екстрагентів, що можна було б об'єднати з другим розділом.

3. Автор використовує слово оптимізація, хоч задачі оптимізації не вирішені.

4. Обґрунтування запропонованого механізму вилучення цільових компонентів із рослинної сировини не повністю розкриває всі стадії процесу та потребує уточнення.

5. У четвертому розділі не достатньо науково обґрунтований вибір технологічних параметрів процесу екстракції.

6. У п'ятому розділі запропоновано принципові технологічні схеми одержання настоянок із коренів *Carlina acaulis* методом настоювання та в апараті з мішалкою. Представлені критерії якості для настоянок із коренів *Carlina acaulis* потребують більш точного узагальнення.

7. У дисертаційній роботі не наведені розрахунки матеріального балансу.

8. У дисертації та авторефераті зустрічаються описки, невдалі звороти.

Наведені зауваження не впливають на позитивну оцінку роботи, її наукову новизну та практичну цінність. У цілому робота справляє позитивне враження. Автореферат за структурою і змістом відповідає всім основним положенням дисертаційної роботи.

## ВИСНОВОК

Вважаю, що дисертаційна робота Федоришин О. М., в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності вирішують важливу науково-практичну задачу, а саме, встановлення ймовірного механізму та науково обґрунтованих умов процесу екстрагування органічних речовин із рослинної сировини. За актуальністю, новизною, ступенем обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, значенням для науки і практики, повнотою викладення в опублікованих працях можна зробити висновок, що виконана дисертаційна робота є завершеною науковою працею, відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Федоришин Ольга Миколаївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,  
завідувачка кафедри обладнання харчових технологій  
Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя  
доктор технічних наук, професор

Підпис Вітенько Т.М. засвідчую:  
проректор з наукової роботи ТНТУ  
ім.І.Пулюя,  
доктор технічних наук, професор



Вітенько Т.М.

Марущак П.О.