

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

Кафедра неорганічної хімії

УДК 543.9

До захисту *д о п у с к а ю*



В. о. завідувача кафедри

“11” 12 2024 р. к.х.н., доц. Максим ВОЛОБУЄВ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЛАВОНОЇДУ КВЕРЦЕТИНУ ТА ЙОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ГІПОТЕРМІЧНОМУ ЗБЕРІГАННІ
СВІЖОВИЛОВЛЕНОЇ РИБИ**

Кваліфікаційна робота магістра
II курсу хімічного факультету
Денного відділення
**ГОРДІЄНКО ВАЛЕРІЇ
ОЛЕГІВНИ**

Науковий керівник
Д-р. техн. наук, проф.



Євлаш В.В.

ХАРКІВ 2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 35 стр., 16 рис., 3 табл., 12 використаних джерел.

Мета роботи: встановити вплив водного комплексу кверцетину, включеного в циклодекстрин, на продовження терміну зберігання свіжовиловленої риби за умов гіпотермічного зберігання з порівнянням його властивостей з кверцетином.

Об'єкти дослідження: водний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином (0,4%) та розчин кверцетину (2%).

Предмети дослідження: короп дзеркальний (*Surpinus carpio*).

Методи дослідження: оцінка середнього гідродинамічного діаметра частинок, спектрометрія, органолептичний аналіз.

Результати та їх новизна: Проведено дослідження флавоноїдів: кверцетину та комплексу кверцетину за показниками середнього гідродинамічного діаметра частинок, спектрометрії розчинів, а також впливу цих розчинів на органолептичні показники якості риби при зберіганні. Встановлено, що водний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином має деякі переваги перед кверцетином при застосуванні як природного антиоксиданту та консерванта для збереження свіжовиловленої риби при гіпотермічному зберіганні. Вперше встановлено, що застосування комплексу кверцетину, як консерванту для продовження терміну зберігання свіжовиловленої риби дозволяє зберегти її свіжість та органолептичні властивості до 9 днів без змін смаку і текстури. Це відкриває перспективи для використання натуральних консервантів у харчовій промисловості, що відповідає сучасним трендам щодо зниження застосування хімічних добавок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КВЕРЦЕТИН, ФЛАВОНОЇДИ, ОКСИДАНТ, ОРГАНОЛЕПТИЧНИЙ АНАЛІЗ, СПЕКТРОМЕТРІЯ, СЕРЕДНІЙ ГІДРОДИНАМІЧНИЙ ДІАМЕТР.

ABSTRACT

Qualification work contains: 35 pages, 16 figures, 3 tables, 12 references.

Purpose: to determine the effect of the aqueous complex of quercetin included in cyclodextrin on the extension of the shelf life of freshly caught fish under hypothermic storage conditions with a comparison of its properties with quercetin.

Objects of study: aqueous complex of quercetin with 2-hydroxypropyl β -cyclodextrin (0.4%) and quercetin solution (2%).

Subjects of the study: mirror carp (*Cyprinus carpio*).

Research methods: estimation of the average hydrodynamic diameter of particles, spectrometry, organoleptic analysis.

Results and novelty: The study of flavonoids: quercetin and quercetin complex by the average hydrodynamic diameter of particles, spectrometry of solutions, as well as the effect of these solutions on the organoleptic quality of fish during storage was carried out. It was found that the aqueous complex of quercetin with 2-hydroxypropyl β -cyclodextrin has some advantages over quercetin when used as a natural antioxidant and preservative for preserving freshly caught fish during hypothermic storage. For the first time, it was found that the use of quercetin complex as a preservative to extend the shelf life of freshly caught fish allows to preserve its freshness and organoleptic properties for up to 9 days without changes in taste and texture. This opens up prospects for the use of natural preservatives in the food industry, which is in line with current trends to reduce the use of chemical additives.

KEYWORDS: QUERCETIN, FLAVONOIDS, OXIDANT, ORGANOLEPTIC ANALYSIS, SPECTROMETRY, MEAN HYDRODYNAMIC DIAMETER.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	8
1.1 Загальна характеристика кверцетина.....	8
1.2 Використання кверцетину як консерванта у харчовій промисловості.....	9
1.3 Аналіз кверцетину порівняно з синтетичними консервантами.....	10
1.4 Використання кверцетину у медицині.....	11
1.5 Метод оцінки середнього гідродинамічного діаметра частинок.....	12
1.6 Спектрометрія водних розчинів кверцетину.....	14
1.7 Органолептичний аналіз.....	14
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Отримання комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином.....	17
2.2 Оцінка середнього гідродинамічного діаметра частинок.....	19
2.3 Спектрометрія розчинів кверцетину та комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином.....	23
2.4 Вплив розчинів кверцетину і комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином на органолептичні показники якості риби при зберіганні.....	26
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	34

ВСТУП

Фенольні сполуки, такі як флавоноїди, є важливими природними речовинами, що мають широкий спектр біологічної активності. Вони зустрічаються у багатьох рослинних продуктах і відіграють ключову роль у захисті рослин від ультрафіолетового випромінювання, патогенів та інших стресових факторів. Кверцетин, один із найвідоміших представників цього класу, привертає дедалі більшу увагу дослідників завдяки своєму унікальному комплексу властивостей, серед яких антиоксидантна, протизапальна, антимікробна, кардіопротекторна та навіть протиракова активність.

Останнім часом кверцетин став об'єктом численних досліджень, які демонструють його ефективність у боротьбі з різними захворюваннями та патологічними станами, включаючи серцево-судинні захворювання, нейродегенеративні процеси та інфекційні хвороби. Важливо відзначити, що кверцетин не лише захищає клітини організму від окислювального стресу, але й здатний модулювати активність різних ферментів і білків, що беруть участь у регуляції запальних процесів і метаболізму. [1]

Попри свій великий потенціал, використання кверцетину має низку обмежень. Основною проблемою є його низька розчинність у воді, що значно обмежує його біодоступність та ефективність у застосуванні до харчових продуктів. Звичайний кверцетин добре розчиняється лише в органічних розчинниках, таких як етанол, метанол або ацетон, що унеможливує його пряме використання для продуктів харчування через токсичність цих розчинників.

Альтернативою для покращення властивостей кверцетину є його комплексна форма, яка створюється шляхом інкапсуляції молекул кверцетину у β -циклодекстрин. Така форма має кілька значних переваг. По-перше, вона забезпечує високу розчинність у воді, що полегшує застосування кверцетину в харчових продуктах. По-друге, комплексна форма сприяє підвищенню біодоступності, оскільки покращує абсорбцію активної речовини, роблячи її більш ефективною. Крім того, водний розчин комплексу є безпечним для використання у харчовій промисловості, на відміну від органічних розчинів, які можуть бути токсичними. [3]

Однією з головних проблем харчової промисловості є забезпечення збереження свіжовиловленої риби. Риба є цінним продуктом харчування завдяки високому вмісту

білків, жирів, мінералів і вітамінів, однак її висока харчова цінність супроводжується схильністю до швидкого псування. Автолітичні процеси, які відбуваються у тканинах риби після вилову, запускають руйнування білків та ліпідів. Паралельно з цим, активний розвиток мікроорганізмів за сприятливих умов призводить до втрати органолептичних властивостей та безпечності продукту. [2]

Гіпотермічне зберігання риби, тобто зберігання при низьких температурах, є одним із найпоширеніших методів продовження терміну її придатності. Однак навіть за таких умов риба не захищена від псування, оскільки деякі психрофільні мікроорганізми здатні розвиватися при низьких температурах, хоча й повільніше. Для покращення ефективності зберігання риби в умовах низьких температур можуть використовуватися різні природні консерванти, серед яких кверцетин виділяється завдяки своїм антибактеріальним та антиоксидантним властивостям. [3]

Вивчення впливу кверцетину та його похідних на мікрофлору свіжовиловленої риби є актуальним завданням, оскільки це може сприяти розробці нових методів зберігання риби, що забезпечують продовження терміну її придатності. Результати таких досліджень можуть мати велике значення для харчової промисловості, оскільки вони сприяють збереженню її органолептичних властивостей, таких як смак, запах та текстура, що є ключовими для споживачів та підвищують якість і безпечність рибної продукції.[2]

Метою цієї роботи встановлення впливу водного комплексу кверцетину, включеного в циклодекстрин, на продовження терміну зберігання свіжовиловленої риби за умов гіпотермічного зберігання з порівнянням його властивостей з кверцетином.

Для досягнення поставленої мети, необхідно було виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз літературних джерел щодо властивостей кверцетину та його застосування в харчовій промисловості.
2. Дослідити стабільність водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином у порівнянні зі кверцетином за допомогою спектрометрії.
3. Оцінити розподіл частинок водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином кверцетину методом динамічного світлорозсіювання (DLS) для визначення їх однорідності та середнього гідродинамічного діаметра.
4. Проаналізувати вплив водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -

циклодекстрином та кверцетину на органолептичні властивості риби під час гіпотермічного зберігання.

5. Встановити переваги водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином щодо його практичного застосування у харчовій промисловості як натурального антиоксиданту та консерванту.

Також було ознайомлення з роботою спектрофотометра та методом фотон-кореляційної спектроскопії на аналізаторі ZetaPALS.

Об'єктом дослідження було обрано водний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином (0,4%) та розчин кверцетину (2%) для порівняння їх властивостей та впливу на рибу.

Тобто, науково-технічна значущість цієї роботи полягає у можливості створення нових екологічно безпечних технологій зберігання харчових продуктів. Очікується, що результати дослідження підкреслять переваги саме водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином порівнянно з кверцетином й внесуть значний вклад у розвиток нових технологій зберігання риби. Це відкриває перспективи для подальших досліджень у галузі біоактивних добавок та їхнього впливу на збереження якості харчових продуктів, особливо в умовах сучасних викликів продовольчої безпеки. [3]

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика кверцетина

Флавоноїди — це біологічно активні речовини, основою яких є дифенілпропановий фрагмент. Назва "флавоноїди" походить від латинського слова *flavus* — жовтий, оскільки перші виділені флавоноїди мали жовте забарвлення.

Кверцетин (3,5,7,3',4'-пентагідроксифлавоон) є одним із найпоширеніших природних флавоноїдів (рисунок 1.1). Він міститься в багатьох рослинах, таких як фрукти, овочі, чаї, ягоди та насіння. Кверцетин привернув значну увагу науковців завдяки своїм численним біологічно активним властивостям: антиоксидантним, протизапальним, антиканцерогенним, антивірусним та кардіопротекторним.

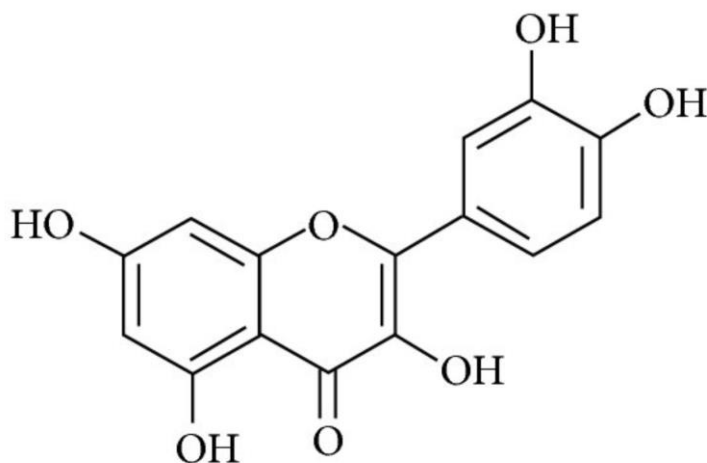


Рисунок 1.1 Структурна формула кверцетину

Його хімічна структура включає два бензольних кільця (А та В), з'єднаних через піронове кільце (С), та численні гідроксильні групи (–ОН) у позиціях 3, 5, 7, 3' і 4' (Рис. 1). Саме ця структура надає кверцетину високу реакційну здатність, зокрема участь у біохімічних процесах, таких як нейтралізація вільних радикалів. Гідроксильні групи відіграють ключову роль в антиоксидантній активності кверцетину. Основні елементи структури, які забезпечують біологічну активність кверцетину:

1. **Ортопозиція гідроксильних груп у кільці В (3' і 4')**: дозволяє кверцетину ефективно взаємодіяти з вільними радикалами та нейтралізувати їх, а також хелатувати метали, що каталізують окисні процеси.
2. **Гідроксильна група в положенні 3 кільця С**: підсилює антиоксидантну активність і здатність до хелатування металів.

3. **Подвійний зв'язок між атомами вуглецю в позиціях 2 і 3 кільця С:** забезпечує резонансну стабільність молекули, підвищуючи її здатність нейтралізувати вільні радикали.
4. **Кетонна група в позиції 4 кільця С:** сприяє посиленню антиоксидантних властивостей кверцетину. [7]

Таким чином, одна з найбільш досліджених властивостей кверцетину — його здатність виступати як антиоксидант, ефективно нейтралізуючи вільні радикали та запобігаючи оксидативному стресу. Цей стрес є причиною розвитку серцево-судинних і нейродегенеративних захворювань. Механізм антиоксидантної дії кверцетину полягає в його здатності до донорства водню й електронів, а також у хелатуванні металів, які каталізують окислювальні процеси. [8]

Кверцетин — це кристалічна речовина жовтого кольору, що поглинає ультрафіолетове світло і випромінює видиме. Він погано розчиняється у воді, що створює труднощі для його застосування в організмі людини, але добре розчиняється в органічних розчинниках (етанол, метанол, диметилсульфоксид, ацетон) Молекулярна маса кверцетину становить 302,24 г/моль, що дозволяє йому легко проникати через біологічні мембрани. Температура плавлення кверцетину — 316-317 °С, що свідчить про його високу термостійкість.

Кверцетин є полярною молекулою через наявність гідроксильних груп, що дозволяє йому утворювати водневі зв'язки з іншими молекулами і вступати в реакції з карбонільними чи аміногрупами. Попри полярність, кверцетин також проявляє ліпофільність, що дозволяє йому вбудовуватися у фосфоліпідні мембрани клітин, стабілізуючи їх та запобігаючи ушкодженню під час оксидативного стресу.

Хоча кверцетин є стабільним за нормальних умов, під дією світла та кисню він може деградувати. Тому для збереження його активності необхідно дотримуватися умов зберігання, які мінімізують вплив світла та кисню. [7]

1.2 Використання кверцетину як консерванта у харчовій промисловості

Кверцетин є одним з найпотужніших антиоксидантів серед фенольних сполук, завдяки чому він ефективно нейтралізує шкідливі вільні радикали. Його антибактеріальні, противірусні та протигрибкові властивості роблять його перспективним компонентом для використання в харчових продуктах як біологічно активний додаток, що подовжує термін їх зберігання та підвищує безпеку споживання.

Механізми антимікробної дії кверцетину включають декілька ключових процесів. По-перше, він руйнує клітинну стінку бактерій, що призводить до їх загибелі. По-друге, кверцетин змінює проникність клітинної мембрани, що викликає втрату важливих речовин і зневоднення клітини. По-третє, він блокує синтез нуклеїнових кислот, що зупиняє процеси відтворення бактерій і синтезу білків, необхідних для їхнього розвитку та розмноження. Також кверцетин знижує активність ферментів, які беруть участь у метаболічних процесах мікроорганізмів, що призводить до їхньої деградації. Завдяки цим властивостям кверцетин є ефективним природним консервантом, який може подовжити термін зберігання харчових продуктів і забезпечити їх мікробіологічну безпеку. [4]

1.3 Аналіз кверцетину порівняно з синтетичними консервантами

Кверцетин як природний консервант має численні переваги, однак його ефективність, вартість та інші властивості варто розглядати в контексті порівняння з традиційними штучними консервантами, які широко використовуються у харчовій промисловості. Таблиця нижче (таблиця 1.3.1) демонструє ключові аспекти порівняння, включаючи походження, безпечність, екологічність, ефективність та економічні аспекти. Такий аналіз дозволяє оцінити доцільність використання кверцетину як альтернативи штучним консервантам, враховуючи зростаючий попит на натуральні інгредієнти та екологічно чисті продукти [5].

Критерій	Кверцетин	Штучні консерванти (наприклад, нітрити, бензоати)
Походження	Натуральне (отримується з рослинних джерел).	Синтетичне (хімічне виробництво).
Безпечність	Не токсичний, має антиоксидантні та антимікробні властивості. Безпечний для здоров'я при нормальних дозах.	Можуть викликати алергії або негативний вплив при надмірному вживанні.
Ефективність	Дієвий проти широкого спектра бактерій та окислювальних процесів.	Висока ефективність, але має обмеження у використанні через регуляції.
Вартість	Вища через натуральне	Зазвичай дешевші,

	походження та складність виробництва.	оскільки виробляються у великих масштабах.
Екологічність	Біорозкладний, безпечний для довкілля.	Може сприяти накопиченню токсичних залишків у природі.
Термін зберігання	Продовжує термін зберігання продуктів, хоча інколи поступається синтетичним аналогам.	Забезпечує триваліший термін зберігання продуктів.
Споживчі переваги	Відповідає тренду на натуральність, покращує сприйняття продукту.	Не відповідає тренду на екологічність, може відлякувати споживачів.

Таблиця 1.3.1 Аналіз природного консерванта кверцетину порівняно з штучними консервантами

Переваги природного консерванта кверцетину:

- Відповідає сучасним вимогам до натуральності продуктів.
- Забезпечує антиоксидантну дію, корисну для здоров'я споживачів.
- Екологічно безпечний, не накопичується у довкіллі.

Недоліки природного консерванта кверцетину:

- Вища вартість у порівнянні із синтетичними аналогами.
- Обмеження в розчинності у воді (потребує створення водорозчинних комплексів).
- Може викликати зміну кольору продукту через жовте забарвлення, що не завжди прийнятно для споживачів.

Перспективи використання:

- Зниження вартості виробництва кверцетину завдяки технологічним інноваціям може зробити його конкурентоспроможним із синтетичними консервантами.
- Поєднання кверцетину з іншими натуральними консервантами для підсилення ефективності.

1.4 Використання кверцетину у медицині

Його основна функція як антиоксиданту полягає в нейтралізації шкідливих молекул – вільних радикалів, що захищає клітини нашого організму від ушкоджень та

старіння. Крім того, кверцетин може знижувати рівень запалення в організмі, пригнічуючи активність речовин, що викликають запальні процеси, що робить його перспективним засобом для лікування різних запальних захворювань.

Кверцетин також показав ефективність у боротьбі з пухлинами. Він може зупиняти розвиток ракових клітин та сприяти їх загибелі. Наприклад, у дослідженнях на клітинах раку молочної залози виявлено, що кверцетин збільшує ефективність хіміотерапії, підвищуючи чутливість клітин до лікування.[6]

Завдяки своїм антиоксидантним властивостям, кверцетин захищає клітини від ушкоджень, викликаних оксидативним стресом, який виникає при впливі токсинів або шкідливих умов навколишнього середовища. Це допомагає запобігти розвитку хронічних захворювань, таких як діабет або хвороби серця.

Кверцетин також має потужну антибактеріальну дію і здатний боротися з різними видами бактерій, такими як золотистий стафілокок і кишкова паличка. Він також ефективний проти деяких грибків, таких як дріжджові гриби роду *Candida*, що дозволяє використовувати його для лікування інфекцій.

Цей компонент позитивно впливає і на серцево-судинну систему. Він може знижувати артеріальний тиск, покращувати стан судин і зменшувати рівень холестерину, що робить його корисним для профілактики та лікування серцево-судинних захворювань, таких як гіпертонія чи атеросклероз.

Кверцетин є перспективним натуральним засобом для профілактики та лікування багатьох захворювань. Завдяки своїм властивостям він може стати корисним доповненням до дієти чи лікування, але для його широкого застосування потрібні додаткові дослідження, щоб підтвердити його ефективність та безпеку при тривалому використанні. [9]

1.5 Метод оцінки середнього гідродинамічного діаметра частинок

Метод оцінки середнього гідродинамічного діаметра частинок використовується для визначення розміру частинок у колоїдних розчинах або суспензіях. Він базується на вимірюванні руху частинок під дією броунівського руху, тобто їхнього хаотичного переміщення у рідкому середовищі. Цей метод дозволяє оцінити розмір частинок, враховуючи вплив їхньої форми, поверхневої хімії та наявності адсорбованих молекул розчинника.

Гідродинамічний діаметр частинок визначається за допомогою динамічного розсіювання світла (DLS, dynamic light scattering). Коли світло взаємодіє з частинками, воно розсіюється у різні напрямки, а інтенсивність цього розсіювання змінюється з часом через броунівський рух частинок. Аналізуючи автокореляційну функцію розсіяного світла, можна отримати інформацію про швидкість дифузії частинок, а отже, і про їхній гідродинамічний діаметр.

Метод DLS має низку переваг, таких як швидкість аналізу, що дозволяє отримати дані про розмір частинок усього за кілька хвилин, висока чутливість, що забезпечує можливість вимірювання частинок у діапазоні від кількох нанометрів до кількох мікрометрів, та відсутність необхідності у попередній підготовці або міченні зразка.

Метод оцінки середнього гідродинамічного діаметра частинок можна ефективно застосовувати для дослідження розчинів кверцетину. Кверцетин — це природний флавоноїд, який має низку корисних властивостей, зокрема антиоксидантну, протизапальну та антиканцерогенну дію. Однак його використання у фармацевтичних та харчових продуктах ускладнюється через низьку розчинність у воді та нестабільність у різних середовищах. Для покращення цих властивостей часто застосовуються різні методи, такі як інкапсуляція кверцетину у наночастинки, утворення комплексів з біополімерами або солюбілізація у водних розчинах.

Динамічне розсіювання світла (DLS) є ефективним інструментом для визначення гідродинамічного діаметра частинок кверцетину у таких розчинах. За допомогою цього методу можна оцінити розмір частинок або агрегатів кверцетину, а також їхню стабільність у розчині. Коли кверцетин утворює комплекси з іншими молекулами або інкапсулюється у наночастинки, DLS дозволяє визначити зміни в розмірі частинок і динамічні характеристики розчину.

Метод оцінки гідродинамічного діаметра широко застосовується у фармацевтиці для дослідження наночастинок у ліках, ліпосом, полімерних мікросфер, у матеріалознавстві для оцінки розміру частинок у наноматеріалах, а також у біотехнологіях для аналізу білкових комплексів, вірусів та інших біологічних частинок. Таким чином, цей метод є важливим інструментом у дослідженні властивостей частинок у рідких середовищах, що дозволяє визначити їхній розмір та динамічні характеристики з високою точністю і чутливістю. [12]

1.6 Спектрометрія водних розчинів кверцетину

Спектрометрія розчинів кверцетину є важливим інструментом для дослідження його хімічної структури, взаємодії з іншими речовинами та оцінки концентрацій у розчинах. Спектрофотометрія є одним із найбільш використовуваних методів для вивчення кверцетину в розчинах. Це метод вимірювання взаємодії світла з речовиною, в основі якого лежить здатність молекул поглинати світло в певному діапазоні довжин хвиль. Кверцетин, як правило, поглинає у видимій та ультрафіолетовій областях спектра, причому основні піки спостерігаються в діапазоні 250-400 нм.

Типовий спектр поглинання кверцетину у водних розчинах має два основних максимуми: один – у діапазоні 255-265 нм (відповідає бензеновій системі), а інший – у діапазоні 370-390 нм, що відповідає електронному переходу на основі флавонової структури. Аналіз поглинання в цих діапазонах може бути використаний для кількісного визначення концентрацій кверцетину в розчинах [11]

Спектрометричний аналіз кверцетину активно застосовується для дослідження його біохімічних властивостей та ролі в фармацевтиці. Наприклад, спектрометричні методи використовуються для визначення взаємодії кверцетину з ферментами або його здатності зв'язувати металеві іони, що може бути корисним для розробки антиоксидантних препаратів.

1.7 Органолептичний аналіз

Органолептичний аналіз — це наукова дисципліна, яка досліджує сприйняття людиною різних властивостей речовин за допомогою органів чуття. Вона охоплює оцінку продуктів харчування, напоїв, косметики, парфумерії та інших об'єктів на основі таких характеристик, як смак, запах, текстура, колір і зовнішній вигляд. Органолептичний аналіз відіграє ключову роль у різних галузях промисловості, особливо в харчовій, фармацевтичній та косметичній. Органолептика базується на використанні таких органів чуття, як:

1. Зір (колір і зовнішній вигляд).
2. Нюх (запах).
3. Смак (смакові відчуття).
4. Тактильні відчуття (текстура, консистенція).
5. Слух (звук під час вживання продуктів, наприклад, хрусткість).

Ці фактори використовуються для оцінки якості продуктів і їх прийнятності споживачами. Органолептичний аналіз включає як суб'єктивні методи (відчуття експерта чи споживача), так і об'єктивні — за допомогою стандартизованих тестів і протоколів.

В харчовій промисловості органолептичний аналіз відіграє важливу роль у визначенні якості продуктів харчування. Він застосовується на різних етапах виробництва та контролю якості:

1. Візуальна оцінка продукту (колір, форма, розмір).
2. Нюхова оцінка (аромат, запахи).
3. Смакова оцінка (солоність, гіркість, кислотність).
4. Текстульний аналіз (м'якість, жорсткість, хрусткість).

Один із основних підходів — це сенсорні панелі, де експерти або треновані дегустатори проводять стандартизовані тести. Їх використовують для оцінки нових продуктів, оптимізації рецептур та контролю змін в умовах зберігання. Органолептичний аналіз включає декілька методів:

1. Дескриптивний аналіз — дозволяє детально описати всі аспекти органолептичних характеристик продукту.
2. Тріангулювальний тест — дегустатори оцінюють три зразки, з яких два однакові, а один відрізняється.
3. Парні порівняння — учасники обирають зразок, який краще за певними параметрами.

Для проведення тестів важливе значення має контроль умов: постійна температура, відсутність сторонніх запахів та правильне освітлення.

У фармацевтичній та косметичній промисловості органолептичний аналіз використовується для оцінки якості ліків, мазей, кремів та інших продуктів на основі текстури, запаху та зовнішнього вигляду. Це важливо для забезпечення якості продукції та покращення її сприйняття споживачами. Наприклад, у фармації органолептичні властивості таблеток або сиропів можуть впливати на прихильність до лікування пацієнтів. [12]

Органолептичний аналіз продовжує розвиватися, і сучасні дослідження націлені на впровадження нових технологій для об'єктивізації результатів. Одним із таких напрямків є електронний ніс і електронний язик, які імітують функції людських органів

чуття для більш точного аналізу ароматів та смаків. Такі технології використовуються в науці для об'єктивного аналізу складних ароматичних і смакових профілів.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Отримання комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином.

Комплекс отримували шляхом змішування спиртових розчинів кверцетину 5,4 ваг % та 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрину 94,6 ваг %, настоювання розчину 24 години та випаровування насухо на роторному випаровувачі (рисунок 2.1.1).



Рисунок 2.1.1 Роторний випаровувач

У результаті було отримано порошок, що містить 5,4 % кверцетину. Порошок добре розчинний у воді. Водорозчинний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином - ефективний антиоксидант (рисунок 2.1.2). Комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином отримано у вигляді порошку, добре розчинного у воді, який містить 5,4% кверцетину.

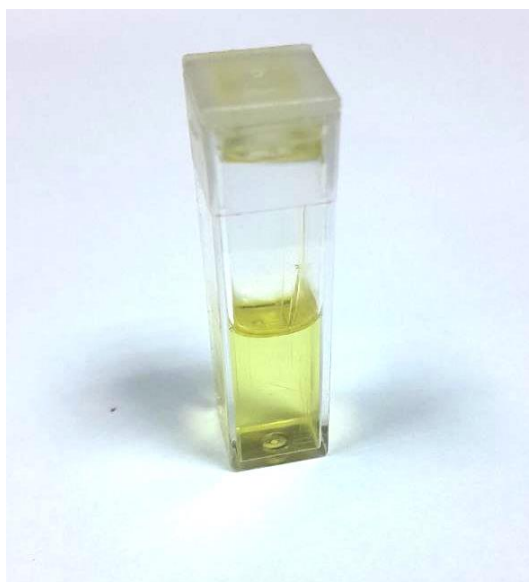


Рисунок 2.1.2 Водний розчин комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином, що містить 0,2% кверцетину.

Порівняно зі слабо розчинним у воді кверцетином його комплекс має вищу біодоступність, що дає змогу використовувати кверцетин з нижчими концентраціями для досягнення еквівалентного ефекту (рисунок 2.1.3).



Рисунок 2.1.3 Водний розчин комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином та розчин кверцетина.

2.2 Оцінка середнього гідродинамічного діаметра частинок

Оцінку середнього гідродинамічного діаметра частинок проводили за динамічним світлорозсіюванням (ДСР) методом фотон-кореляційної спектроскопії (PCS) на аналізаторі ZetaPALS (Brookhaven Instruments Corp., США) за кута розсіювання 90° (рисунок 2.2.1).

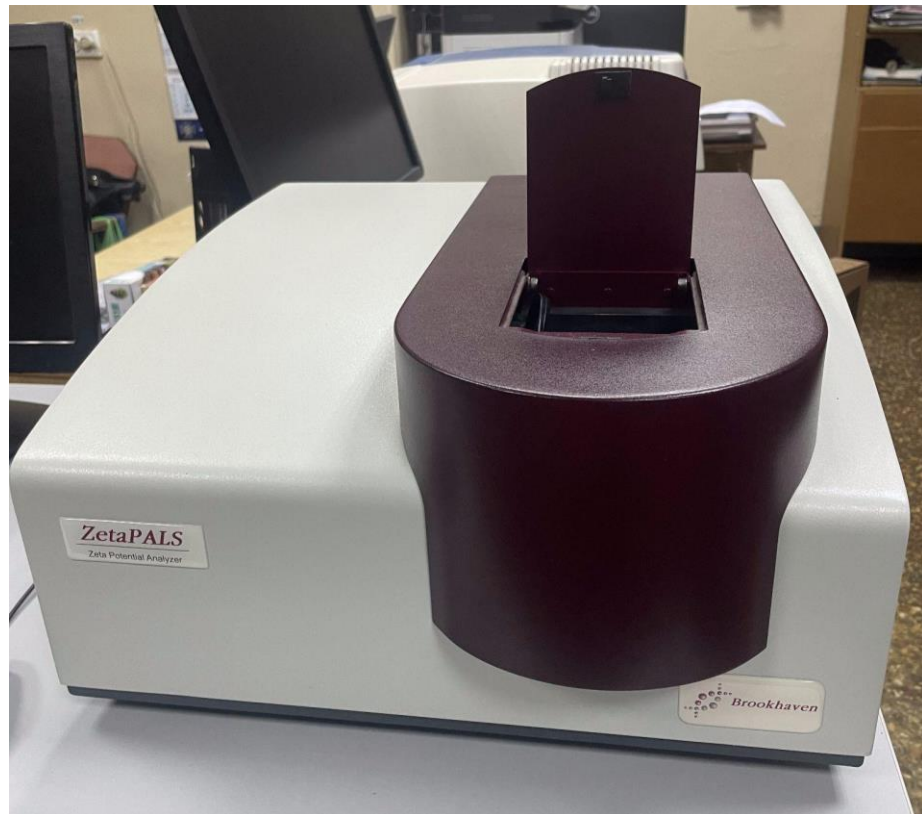


Рисунок 2.2.1 ZetaPALS.

Як джерело світла використовували гелій-неоновий лазер (довжина хвилі випромінювання 659 нм). Вимірювання проводили в спеціальних полістирольних кюветах (BI-SCP). Перед початком вимірювань досліджувані розчини термостатували за температури 25°C . Вимірювання проводили в гідрозолях заданої концентрації, що забезпечує надійне отримання достовірних результатів.

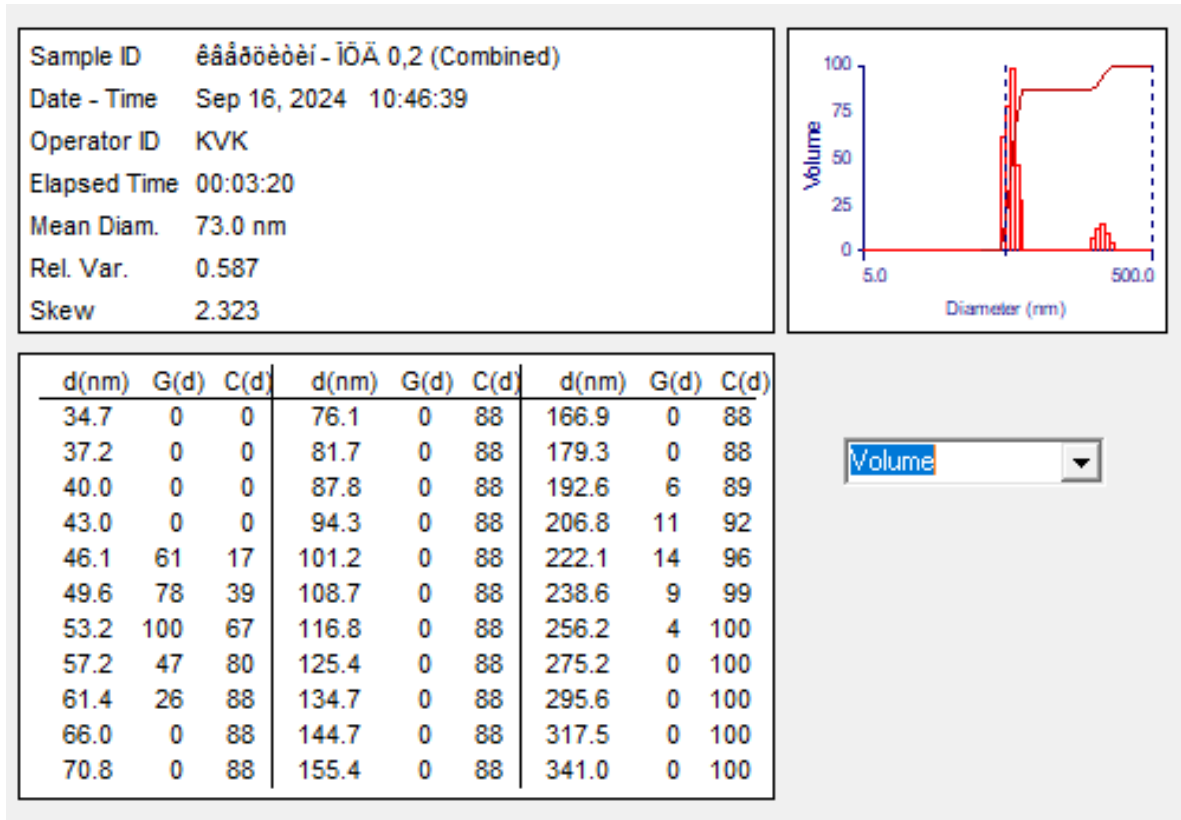


Рисунок 2.2.2 Дані розподілу частинок за діаметром у водному розчин комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином 0,2%

На графіку (рисунок 2.2.2) відображено розподіл розмірів частинок в об'ємі, де на осі y показано об'ємну частку частинок, а на осі x — їх діаметр в нанометрах. У таблиці, що знаходиться праворуч від графіка, подано числові дані для різних діаметрів частинок. Середній діаметр частинок складає 73 нм. Це свідчить про те, що більшість частинок мають діаметр в межах 70 нм. Також видно, що:

- Відносна варіація (Rel. Var) становить 0,587, що вказує на те, що розподіл частинок має помірну дисперсію. Це означає, що розміри частинок не є надмірно змінними, але й не зовсім однорідні. Чим більше це значення, тим більша варіативність у розмірах частинок. Значення 0,587 свідчить про те, що частинки мають помірну різноманітність у розмірах.
- Значення Skew (асиметрії) показує, що розподіл частинок є відкритим вправо (позитивно зміщеним). Коли $Skew > 0$, це означає, що є більше частинок з більшими діаметрами, і що розподіл частинок має довший хвіст на правій стороні графіка (тобто частки більших частинок більше, ніж очікувалося за

нормальним розподілом). Значення $Skew = 2,323$ є досить високим і свідчить про виражене позитивне зміщення. Це означає, що хоча більшість частинок можуть мати середній діаметр, є значний внесок частинок з більшими розмірами.

Тобто, є частинки з іншими розмірами, які складають меншу частину розподілу. В таблиці вказані діаметри частинок у нм та відповідні об'ємні частки:

1. $G(d)$ (Gamma of d) — це функція розподілу частинок за діаметром. Вона показує об'ємну частку частинок певного діаметра. Тобто значення $G(d)$ для кожного діаметра вказує, яку частину загального об'єму зразка займають частинки з цим діаметром. Цей параметр показує, скільки об'єму припадає на частинки конкретного діаметра в розподілі.
2. $C(d)$ (Cumulative Distribution Function) — це кумулятивна функція розподілу, яка показує кумулятивну об'ємну частку частинок з діаметром меншим або рівним даному значенню. Тобто $C(d)$ відображає, скільки об'ємної частки зразка складають частинки з діаметром, який не перевищує певне значення.

Отже, $G(d)$ — це об'ємна частка для частинок конкретного діаметра, а $C(d)$ — це кумулятивна об'ємна частка для частинок менших або рівних певному діаметру.

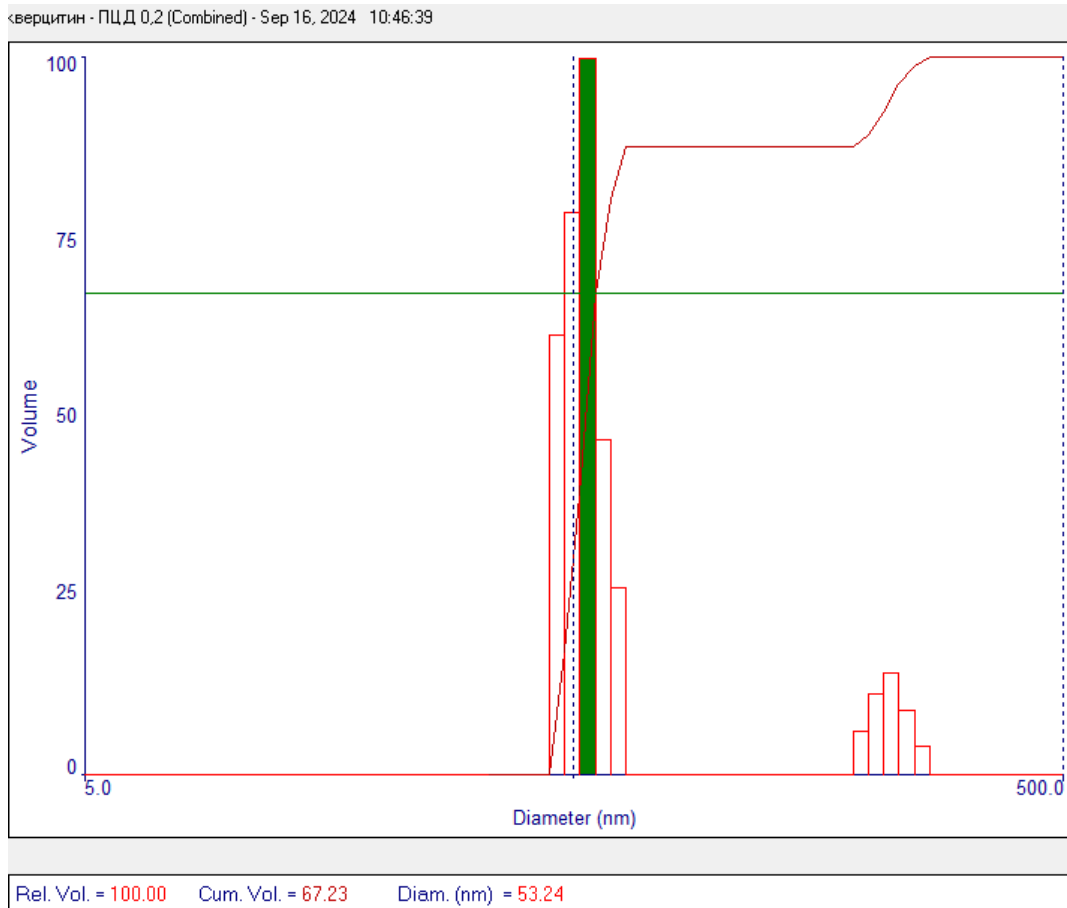


Рисунок 2.2.3 Розподіл частинок за гідродинамічним діаметром у водному розчин комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином

На графіку (рисунок 2.2.3) також показано розподіл частинок за діаметром у вигляді об'ємної частки, зокрема частинок діаметром від 46 до 61 нм. Графік показує різку зміну об'ємної частки з ростом діаметра. Це може вказувати на наявність агрегаційних структур або груп частинок розміром від 193 до 256 нм. Така форма графіка свідчить про досить широкий розподіл розмірів частинок в зразку.

Дані, наведені внизу графіка:

- Rel. Vol. = 100.00: Це відносний об'єм, який вказує, що загальний об'єм усіх виміряних частинок нормалізований до 100%. Це означає, що весь об'єм частинок у зразку враховано.
- Cum. Vol. = 67.23: Це кумулятивний об'ємний відсоток, який показує загальний об'єм усіх частинок, діаметр яких менший або рівний вказаному значенню (в даному випадку 53,24 нм). Кумулятивний об'єм 67,23% означає,

що 67,23% загального об'єму частинок складають частинки діаметром менше або рівним 53,24 нм.

- $Diam. (nm) = 53.24$: Це діаметр частинок, який відповідає кумулятивному об'єму 67,23%. Тобто 67,23% об'єму частинок складають частинки діаметром менше або рівним 53,24 нм.

Отже, 67,23% загального об'єму частинок складається з частинок, діаметр яких менший або рівний 53,24 нм. Це дає уявлення про розподіл розмірів частинок у зразку.

Загалом, система частинок має розмір у межах 46 - 256 нм, з основною часткою частинок навколо 73 нм, 88 % усіх частинок мають розміри 46 - 61 нм, решта у вигляді агрегатів із розмірами 193 - 256 нм. Це вказує на те, що зразок є полідисперсним, тобто містить частинки різних розмірів, хоча переважна більшість має схожі розміри. Такий аналіз важливий для оцінки однорідності зразка, що може впливати на його властивості, наприклад, у випадках використання частинок у фармацевтиці чи колоїдних системах.

2.3 Спектрометрія розчинів кверцетину та комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином

Для отримання спектрів поглинання використовували спектрофотометр SPECORD 200 (Analytik Jena, Німеччина) (рисунок 2.3.1).



Рисунок 2.3.1. спектрофотометр SPECORD 200.

Вимірювання проводили в кюветах з оптичного кварцу завтовшки 0.2 - 5.0 см, таким чином, щоб вимірюване значення оптичної щільності не виходило за межі області від 0.1 до 1.3 одиниць. Температура всередині кюветного відділення спектрофотометра становила $25 \pm 0,25^\circ\text{C}$.

На графіку (рисунок 2.3.2) наведено спектри поглинання двох систем: кверцетину у спиртовому розчині (чорна лінія) та комплексу кверцетину з водою (червона лінія). По осі ординат (вертикальна вісь) відкладено величину поглинання світла (Absorption), а по осі абсцис (горизонтальна вісь) — довжина хвилі у нанометрах (λ , nm).

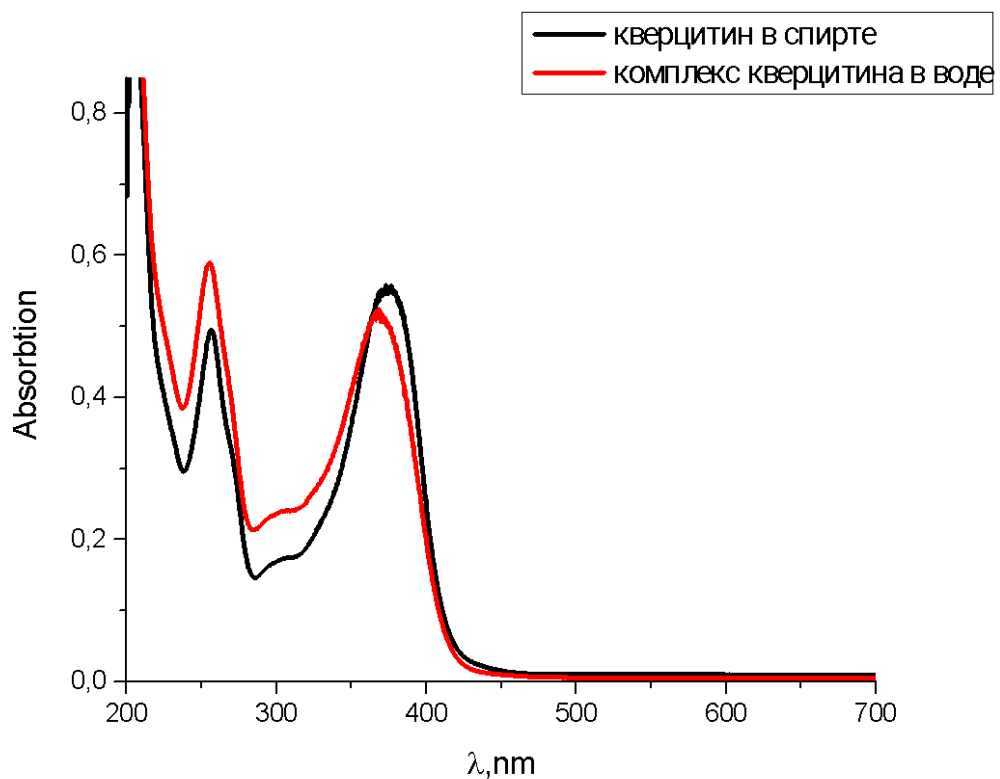


Рисунок 2.3.2. Спектр кверцетину в спирті та комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином з 0,02 % розчинів, розбавлені у 25 разів.

Спектр кверцетину у спирті (чорна лінія) демонструє високу інтенсивність поглинання в УФ-області, з піком приблизно у діапазоні 200–300 нм, а також менш виражений пік у діапазоні 350–400 нм.

Спектр комплексу кверцетину у воді (червона лінія) показує незначне зниження інтенсивності поглинання порівняно з розчином у спирті, особливо в області 250–300 нм. Однак загальна структура спектра зберігається, що вказує на схожість молекулярної природи обох систем.

Взаємодія кверцетину з циклодекстрином призводить до зміни інтенсивності поглинання, що може бути пов'язано зі зміною розчинності або конформації молекули кверцетину у водному середовищі. Це свідчить про успішне формування комплексу, який може бути корисним для використання у водних системах, таких як фармацевтика чи харчова промисловість.

На графіку (рисунок 2.3.3) представлено спектр поглинання кверцетину у чистій воді. Основні параметри графіка: вісь ординат — поглинання, вісь абсцис — довжина хвилі у нанометрах.

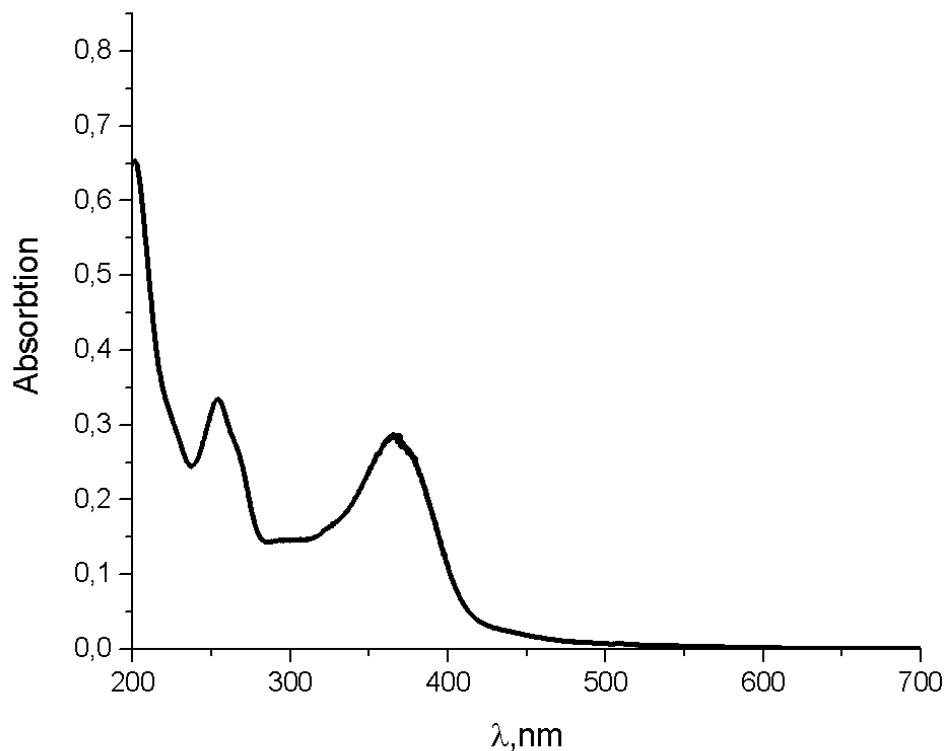


Рисунок 2.3.3 Спектр поглинання кверцетину у воді за максимальної розчинності при 25 °С.

Спектр характеризується кількома вираженими піками:

- Основний пік інтенсивності приблизно на 250 нм.
- Другий за інтенсивністю пік знаходиться у діапазоні 350–400 нм.
- Спостерігається зниження поглинання у діапазоні довжин хвиль понад 400 нм, що відповідає зниженню активності молекули у видимій області спектра.

У спектрах поглинання характерна смуга поглинання кверцетину в комплексі при 368 нм має оптичну густину 0,5 за концентрації в розчині $0,02/25 = 0,0008\%$. Природна розчинність у воді має оптичну густину 0,25 за того ж максимуму поглинання. Отже природна розчинність кверцетину у воді нижча за $0,0008\%$. З огляду на те, що в роботі використовували розчини комплексів з максимальною концентрацією кверцетину 2,0 г/л або 0,2% розчинність кверцетину у вигляді комплексу перевищує його природну розчинність щонайменше у 250 разів.

Кверцетин у воді демонструє характерний спектр поглинання, однак його інтенсивність нижча порівняно з розчином у спирті. Це свідчить про нижчу розчинність кверцетину у воді без утворення комплексу. Такі дані підтверджують необхідність використання модифікаторів, наприклад, β -циклодекстринів, для покращення розчинності та біоактивності кверцетину у водному середовищі.

Порівняння спектрів кверцетину у різних середовищах (спирт та вода) підкреслює вплив розчинника та комплексоутворення на оптичні властивості речовини. Комплекс з водою демонструє потенціал для використання у системах, що потребують водорозчинних форм.

2.4 Вплив розчинів кверцетину і комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином на органолептичні показники якості риби при зберіганні.

У цьому дослідженні було проаналізовано вплив кверцетину та його комплексу на органолептичні показники риби під час зберігання. Для дослідження був обраний короп дзеркальний (*Cyprinus carpio*) (рисунок 2.4.1).



Рисунок 2.4.1 Короп дзеркальний (*Cyprinus carpio*).

Риба була розділена на три частини, кожна з яких оброблялася двома різними розчинами кверцетину: 0,4% розчином комплексу кверцетину і розчином кверцетину з концентрацією 2%. Загалом було отримано шість зразків риби. Контрольним зразком була свіжа, щойно зварена риба без обробки розчинами, яка використовувалася для порівняння смакових характеристик.



Рисунок 2.4.2 Зразки риби.

На третій день зберігання риби в двох розчинах ми взяли по одному шматочку, просоченому кожним розчином, і приготували їх двома способами: смажили та варили (рисунок 2.4.3).



Рисунок 2.4.3 Третій день зберігання риби. Варена та смажена риба.

Органолептичні властивості не змінилися: залишився той самий смак, свіжість, ніжність, без гіркоти. Зміни стосувалися лише кольору: з'явився злегка жовтуватий відтінок, оскільки розчин кверцетину має жовтий колір. Кверцетин у комплексній формі має менш насичений жовтий відтінок, ніж у кверцетині. Тому риба, просочена кверцетином, має яскравіший колір. Однак при смаженні цей відтінок не проявляється. При варінні він є, але смакові якості залишаються такими ж, як і в риби першого дня без розчину.

На шостий контрольний день риба пролежала шість днів у двох розчинах: водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином та кверцетин. Приготування риби було шляхом смаження та варіння. Органолептичні властивості залишилися без змін: риба свіжа, її можна вживати, без гіркоти. Жовтуватий відтінок став більш насиченим в кверцетині і проявлявся під час варіння (рисунок 2.4.4).



Рисунок 2.4.4 Шостий день зберігання риби

Вода, в якій варилася риба, набула насиченого жовтого кольору (рисунок 2.4.5). Окрім більш насиченого кольору води та тканини риби, інших змін не було. Смакові якості залишилися як на третій день, тобто, як на нульовий день, без розчину. При смаженні жовтий відтінок менш помітний.

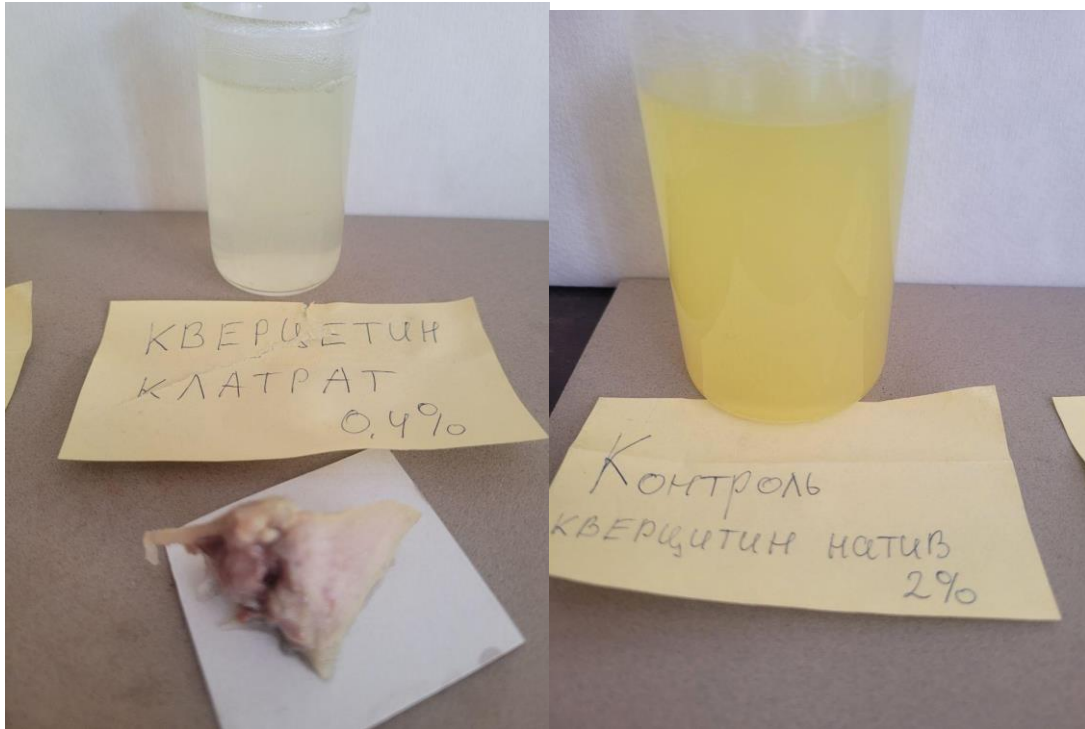


Рисунок 2.4.5 Вода після варки риби на шостий день зберігання.

На дев'ятий, останній контрольний день, риба залишалася такою ж свіжою. Весь час експерименту її зберігали при температурі холодильника +4 С. Органолептичні властивості залишилися незмінними: риба свіжа, без гіркоти, ніжна. Проте жовтуватий відтінок став ще більш насиченим, особливо в рибі, просоченій кверцетином. При варінні цей жовтий колір особливо помітний: вода, в якій варилася риба, стала ще більш насичено жовтою. При смаженні цей відтінок менш видимий. У комплексній формі кверцетину жовтий відтінок не такий яскравий, як у кверцетину. Але результати щодо органолептичних властивостей однакові на дев'ятий день, останній день експерименту (рисунок 2.4.6).



Рисунок 2.4.6 Дев'ятий день зберігання риби

У результаті експерименту було встановлено, що риба зберігала свою свіжість протягом усього періоду зберігання як у розчині кверцетину, так і в розчині його комплексної форми. Жодних змін у смакових або органолептичних властивостях не спостерігалося. Єдиним помітним результатом було поступове забарвлення тканин риби, яке ставало очевидним уже на шостий день при варінні. Під час цього процесу також забарвлювалася вода, у якій готувалася риба.

Риба, просочена кверцетином, мала більш насичений жовтий відтінок порівняно з тією, що була оброблена комплексною формою. Це зумовлено інтенсивнішим жовтим забарвленням кверцетину. Водночас при смаженні жовтий відтінок тканин риби не був помітним, незалежно від форми кверцетину. Таким чином, риба залишалася свіжою і придатною до споживання в обох розчинах, зберігаючи стабільні смакові характеристики. Усі результати експерименту представлені в таблицях нижче (таблиця 2.4.1 та таблиця 2.4.2).

Таблиця 2.4.1 Органолептичний аналіз риби у двох різних розчинів кверцетинів: водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином та кверцетин.

Кількість днів	Комплекс кверцетину (0,4%)				Кверцетин (2%)			
	Смак	Колір	Запах	Текстура	Смак	Колір	Запах	Текстура
3	Не гірчить	Природний, однорідний	Немає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна	Не гірчить	Природний, однорідний	Немає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна

6	Не гірчить	Має жовтий відтінок	Немає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна	Не гірчить	Має жовтий колір	Немає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна
9	Не гірчить	Має жовтий відтінок	Немає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна	Не гірчить	Має характерний жовтий колір	емає	Щільна та пружна, однорідна, ніжна

Таблиця 2.4.2 Органолептичний аналіз риби при варінні та смаження у двох різних розчинів кверцетинів: водного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β-циклодекстрином та кверцетин.

Кількість днів	Комплекс кверцетину (0,4%)		Кверцетин (2%)	
	Варіння	Смаження	Варіння	Смаження
3	Колір білий, текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак ніжний, без гіркоти.	Колір золотисто-коричневий зовні, всередині кремовий. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, смаженої риби. Смак інтенсивний, з легкою підсмаженою ноткою, без гіркоти.	При випаровуванні помітне легке жовте забарвлення. Текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак ніжний, без гіркоти.	Під час смаження жовтий колір не проявляється. Зовні утворюється золотисто-коричнева скоринка, всередині колір кремовий. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, характерний для смаженої риби. Смак інтенсивний, з підсмаженою ноткою, без гіркоти.
6	Риба та бульон мають жовтий відтінок, текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак	Під час смаження жовтий колір не проявляється. Зовні утворюється золотисто-коричнева скоринка, всередині колір кремовий. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, характерний для смаженої риби.	Риба та бульон мають жовтий колір, текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак	Під час смаження жовтий колір менш виражений. Зовні утворюється золотисто-коричнева скоринка. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, характерний для смаженої риби. Смак інтенсивний, з підсмаженою ноткою, без гіркоти.

	ніжний, без гіркоти.	Смак інтенсивний, з підсмаженою ноткою, без гіркоти.	ніжний, без гіркоти.	
9	Риба та бульон мають жовтий відтінок, текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак ніжний, без гіркоти.	Під час смаження жовтий колір не проявляється. Зовні утворюється золотисто-коричнева скоринка, всередині колір кремовий. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, характерний для смаженої риби. Смак інтенсивний, з підсмаженою ноткою, без гіркоти.	Риба та бульон мають характерний жовтий колір, текстура щільна, соковита, легко розділяється на волокна. Запах характерний, без сторонніх домішок. Смак ніжний, без гіркоти.	Під час смаження жовтий колір менш виражений, але помітний. Зовні утворюється золотисто-коричнева скоринка. М'ясо соковите, щільне. Аромат приємний, характерний для смаженої риби. Смак інтенсивний, з підсмаженою ноткою, без гіркоти.

ВИСНОВКИ

1. З'ясовано за допомогою аналізу літературних джерел, що кверцетин є ефективним натуральним антиоксидантом та консервантом, однак його низька розчинність у воді та обмежена біодоступність є значними недоліками. Використання комплексів із 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином дозволяє подолати ці обмеження.
2. Досліджено, що комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином демонструє високу стабільність у водному середовищі. Основний пік поглинання комплексу знаходився на довжині хвилі 368 нм із оптичною густиною 0,5 при концентрації 0,0008%. Натомість звичайний кверцетин має значно нижчу розчинність у воді, що обмежує його застосування.
3. Доведено, що середній розмір частинок водного комплексу кверцетину з циклодекстрином становить 73 нм, причому 88% частинок мають розмір у діапазоні 46–61 нм. Це свідчить про високу однорідність і стабільність частинок у розчині, що значно покращує розчинність і біодоступність у порівнянні зі кверцетином.
4. Досліджено, що обробка риби водним комплексом кверцетину з циклодекстрином зберігає її природний вигляд, текстуру та смакові якості протягом гіпотермічного зберігання. У той же час розчин кверцетину викликає жовтуватий відтінок, особливо під час варіння, що погіршує зовнішній вигляд продукту.
5. Встановлено, що комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином має значні переваги перед кверцетином, включаючи підвищення розчинності у воді в 250 разів, стабільність, рівномірність частинок і покращення органолептичних властивостей продукту. Це підтверджує його ефективність як натурального антиоксиданту та консерванту для харчової промисловості.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sofia C. Lourenço, Margarida Moldão-Martins and Vítor D. Alves. Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Application. *Molecules* 2019, 24(22), 4132
2. V. Yevlash, L. Gazzavi-Rogozina, I. Piliugina, O. Falko, V. Chizhevskiy. Scientific Works of NUFT 2023. Volume 29, Issue 5. Pages : 99-110
3. Bahare Salehi, Laura Machin, Lianet Monzote, Javad Sharifi-Rad, Shahira M. Ezzat, Mohamed A. Salem, Rana M. Merghany, Nihal M. El Mahdy, Ceyda Sibel Kılıc, Oksana Sytar, Mehdi Sharifi-Rad, Farukh Sharopov, Natália Martins, Miquel Martorell, William C. Cho. Therapeutic Potential of Quercetin: New Insights and Perspectives for Human Health. *ACS Omega* 2020, 5, 11849–11872
4. Safa Hussein Baqer, Sarmad Ghazi Al-Shawi, Zena Kadhim Al-Younis. "Quercetin, the Potential Powerful Flavonoid for Human and Food: A Review." *Frontiers in Bioscience (Elite Edition)*, 2024, 16(3): 30.
5. Baqer S. H., Al-Shawi S. G., Al-Younis Z. K. Quercetin, the Potential Powerful Flavonoid for Human and Food: A Review. *Frontiers in Bioscience (Elite Edition)* 2024, 16(3), 30.
6. Boots, A. W., Haenen, G. R. M. M., Bast, A. Health Effects of Quercetin: From Antioxidant to Nutraceutical. Maastricht University, 2006.
7. Lakhanpal, P., & Rai, D. K. (2007). "Quercetin: A versatile flavonoid." *Internet Journal of Medical Update*, 2(2), 22-37.
8. Middleton, E., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. "The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer." *Pharmacological Reviews*, 2000, 52(4), 673-751.
9. Aghababaei, Fatemeh, and Milad Hadidi. "Recent Advances in Potential Health Benefits of Quercetin." *Pharmaceuticals*, vol. 16, no. 1020, 2023, 1-31.
10. Rodriguez-Loya, J., Lerma, M., & Gardea-Torresdey, J. L. Dynamic light scattering and its application to control nanoparticle aggregation in colloidal systems: A review. *Micromachines*, 2024, 15(1), 1-24.
11. Baghel SS, Shrivastava N, Baghel RS, Agrawal P, Rajput S. A review of quercetin: antioxidant and anticancer properties. *World J Pharm Pharm Sci.* 2012;1:146–160.

12. Lawless, H. T., & Heymann, H. "Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices." Springer Science & Business Media, 2010.