

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну

Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників
для кондитерських виробів

Рівень вищої освіти другий магістерський

Галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Хімічні технології та інженерія

КРМХТІ. 2023205.23.04.00

Виконав студент 2 курсу
групи ХТІм-23-1



Підпис

Андрій ДИКИЙ


Керівник доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
хімії та хімічної інженерії



Підпис

Ольга ПАРАСКА

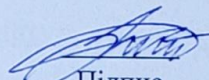
Нормоконтролер



Підпис

Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри хімії та хімічної
інженерії



Підпис

Ольга ПАРАСКА

19.12.2024

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Технологій і дизайну
Кафедра Хімії та хімічної інженерії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
хімії та хімічної інженерії
Ольга ПАРАСКА

26 серпня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дикого Андрія Володимировича

1. Тема роботи Дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників для кондитерських виробів

Керівник роботи Параска Ольга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та хімічної інженерії

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. № 60

2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 19.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи звіт з переддипломної практики, методичні вказівки до виконання магістерської роботи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Сучасні тенденції застосування натуральних барвників для виробництва кондитерських виробів. Вимоги до натуральних барвників для виробництва кондитерських виробів. Вплив фізико-хімічних та технологічних властивостей натуральних барвників на характеристики кондитерських виробів. Застосування натуральних барвників в технологія виробництва макарунів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Презентація виконана в програмі Canva (11 слайдів)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: Дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників для кондитерських виробів

Автор роботи: здобувач вищої освіти групи ХТІм-23-1 Андрій ДИКИЙ

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор Ольга ПАРАСКА

Обсяг кваліфікаційної роботи 60 сторінок, 10 таблиць, 12 рисунків, 26 джерел посилань, графічної частини 11 слайдів.

Ключові слова: НАТУРАЛЬНІ БАРВНИКИ, ФЛАВАНОЇДИ, КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБИ.

Метою кваліфікаційної роботи є комплексний аналіз фізико-хімічних властивостей натуральних барвників рослинного походження.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні властивості натуральних барвників.

Предмет дослідження – натуральні барвники.

У роботі розглядаються основні природні джерела барвників, такі як куркума, буряк, морква, гранат, а також їхній хімічний склад, який визначає колір і функціональні властивості.

Основна увага приділяється аналізу фізико-хімічних властивостей натуральних барвників. Застосовано методи спектроскопії, інструментального, аналітичного, органолептичного та інших фізико-хімічних аналізів.

Результати досліджень демонструють, що натуральні барвники мають певні обмеження, але при правильному підборі умов використання вони забезпечують високу якість кондитерських виробів, підвищують їх привабливість, відповідають вимогам екологічності та безпечності. Отримані дані можуть бути корисними для розробки нових натуральних кондитерських виробів із поліпшеними споживними властивостями.

12.12.2024 р.

Здобувач вищої освіти групи ХТІм-23-1

Андрій ДИКИЙ

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	5
1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ НАТУРАЛЬНИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ	8
1.1 Особливості використання натуральних барвників в харчовій промисловості	8
1.2 Вимоги до натуральних барвників для виробництва кондитерських виробів	
1.3 Вплив фізико-хімічних та технологічних властивостей натуральних барвників на характеристики кондитерських виробів	14
2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Характеристика об'єктів дослідження	24
2.2	26
2.3	30
2.4 ІЧ-спектроскопія	32
3	35
3.1	35
3.2	38
3.3	47
	61
	62
3.6	67
3.7	69
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	76

ВСТУП

Натуральні барвники для кондитерських виробів – це органічні речовини, які отримують із природних джерел: рослин, ягід, фруктів, овочів, спецій та мінералів. Широко використовують для надання кольору десертам, кремам, глазури, мармеладу та іншим солодощам, забезпечуючи не лише естетичну привабливість, а й екологічність та безпеку продукції [1, 2].

Завдяки своєму природному походженню, такі барвники не містять шкідливих хімічних домішок, синтетичних добавок. Вони підходять для створення натуральних, веганських та органічних десертів. Крім того, деякі натуральні барвники містять корисні речовини, наприклад вітаміни, антиоксиданти, мікроелементи, що можуть додатково збагачувати солодощі.

Натуральні барвники варіюються за інтенсивністю кольору та стабільністю: їхній відтінок може змінюватися залежно від температури, рівня кислотності чи типу продукту, у якому їх застосовують [3]. Ці особливості вимагають певного досвіду та знань впливу фізико-хімічних властивостей на характеристики кондитерських виробів. Тому тема кваліфікаційної роботи актуальна і має практичне значення, адже натуральні барвники надають кондитерським виробам не лише кольору, природного аромату, смаку, а є безпечні для здоров'я людини.

Застосування натуральних барвників для кондитерських виробів передбачає дотримання низки вимог, щоб забезпечити якість, безпечність і стабільність кінцевого продукту. Основні вимоги до використання натуральних барвників включають [4, 5]:

- відповідність стандартам безпеки: натуральні барвники повинні бути харчовими, нетоксичними та відповідати вимогам регуляторних органів (наприклад, Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA) чи Кодексу харчових добавок FAO/WHO). Барвники мають бути сертифіковані для використання в харчовій промисловості [7, 8];

- чистота сировини: сировина, з якої отримано барвник, має бути екологічно чистою, вирощеною без використання пестицидів чи хімічних добрив. Сировина має бути вільною від домішок та забруднень, які можуть вплинути на якість чи безпеку;
- сумісність із продуктами: барвники повинні бути сумісними з кондитерськими виробами за складом і технологічними умовами (температура випікання, кислотність крему чи глазури). Важливо враховувати можливість зміни кольору внаслідок термічної обробки або взаємодії з іншими компонентами;
- стабільність кольору: необхідно враховувати стабільність барвників під впливом температури (випікання, заморожування), світла (зберігання в освітлених умовах), кислотності (рівня рН продукту). Деякі натуральні барвники можуть потребувати стабілізаторів для збереження кольору;
- натуральність і натуральний смак: барвник не повинен негативно впливати на смакові якості кондитерського виробу. Наприклад, використання бурякового соку може змінити смак, що потрібно враховувати. Вибір барвника має відповідати концепції натурального продукту;
- дозування: барвники слід використовувати в мінімальній ефективній кількості, щоб уникнути небажаних змін смаку, текстури чи зовнішнього вигляду. Дозування залежить від концентрації барвника та бажаного відтінку;
- зберігання та термін придатності: барвники слід зберігати в сухому, прохолодному, темному місці, дотримуючись рекомендованих умов виробника. Необхідно стежити за терміном придатності, адже натуральні продукти мають коротший термін зберігання порівняно із синтетичними;
- економічна доцільність: натуральні барвники, як правило, мають вищу вартість, тому слід раціонально оцінити їхню ефективність і доступність.
- врахування специфіки кінцевого кондитерського виробу: тип виробу (крем, мастика, бісквіт чи глазур) визначає форму барвника (порошок, рідина, паста) і метод його введення;

- веганські, безалергенні властивості: барвники повинні відповідати потребам споживачів (веганські, безглютеніві, безлактозні чи безалергенні продукти).

Таким чином, дотримання цих вимог забезпечує якісний результат у виготовленні кондитерських виробів із використанням натуральних барвників.

В кваліфікаційній роботі розглянуто сучасний стан застосування натуральних барвників для виробництва кондитерських виробів, їх фізико-хімічні властивості. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів та висновків. Обсяг кваліфікаційної роботи 71 сторінка, 11 таблиць, 6 рисунків, 26 джерел посилань, графічна частина створена у програмі презентації Canva (11 слайдів) [9, 10].

Дослідження кваліфікаційної роботи мають практичне значення для харчової промисловості, зокрема в технологіях виробництва кондитерських виробів.

1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ НАТУРАЛЬНИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

1.1 Особливості використання натуральних барвників в харчовій промисловості

У сучасній науці та промисловості зростає інтерес до натуральних барвників, які є перспективною альтернативою синтетичним завдяки своїй безпечності, екологічності та багатофункціональності. Вони відіграють ключову роль у таких галузях, як харчова, косметична та текстильна промисловість, забезпечуючи не лише естетичні характеристики продукції, але й додаткові переваги, зокрема антиоксидантні та антимікробні властивості [11].

Історично натуральні барвники були єдиним джерелом кольору для фарбування тканин, їжі та інших матеріалів. Основними джерелами таких барвників слугували рослини, мікроорганізми, гриби, а також продукти тваринного походження, наприклад кошениль чи індиго. Відкриття першого синтетичного барвника у 1856 році стало революцією, що призвела до майже повної заміни натуральних барвників завдяки дешевизні виробництва та яскравішій палітрі кольорів. Проте екологічні проблеми, пов'язані з використанням синтетичних барвників, зокрема забруднення води та токсичність, стимулюють інтерес до повернення до природних джерел кольору.

Барвники класифікують за походженням (натуральні або синтетичні), покривною здатністю (прозорі або непрозорі) та розчинністю (барвники чи пігменти) [12]. Натуральні барвники, на відміну від синтетичних, набувають дедалі більшого значення завдяки їхній екологічності та безпечності для здоров'я. Барвники є розчинними у середовищі, де їх застосовують, тоді як пігменти залишаються нерозчинними в звичайних розчинниках [12, 13].

Згідно з визначенням FDA (Управління з контролю за харчовими продуктами та лікарськими засобами США), барвником є будь-який пігмент,

фарба чи інша речовина, здатна надавати колір харчовим продуктам, лікарським засобам, косметиці або людському тілу [7, 13]. Класифікація барвників зображена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Класифікація барвників

Особливий інтерес у сучасній промисловості викликають натуральні барвники, які не тільки відповідають вимогам регуляторних органів щодо безпеки, але й забезпечують додаткові функціональні властивості, такі як антиоксидантна активність. Незважаючи на переваги, використання натуральних барвників ускладнене їхньою підвищеною чутливістю до впливу світла, змін рН і кисню. Подолання цих обмежень є ключовим напрямом досліджень у галузі природних барвників.

Рослинні джерела широко використовують для отримання натуральних барвників, що знаходять застосування в харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості [14, 15]. Наприклад:

- куркума (*Curcuma longa*) є цінним джерелом куркуміноїдів, які забезпечують інтенсивні жовто-оранжеві відтінки, завдяки чому активно застосовуються у виробництві харчових продуктів.
- морква (*Daucus carota*) багата на бета-каротин – природний пігмент, що забезпечує яскраво-оранжевий колір і виконує функцію провітаміну А.
- буряк (*Beta vulgaris*) є джерелом беталаїнів, що дають продукцію насиченого червоного або пурпурового кольору, зберігаючи при цьому антиоксидантні властивості.
- вишня та черешня утворюють антоціани – природні фенольні сполуки, які забезпечують червоні, бордові або фіолетові відтінки залежно від рН середовища.
- гранатовий сік (*Punica granatum*) також багатий на антоціани та інші поліфеноли, які підтримують червоні й бордові відтінки, а також надають антиоксидантні властивості готовим продуктам.

Ці природні пігменти характеризуються своєю екологічністю, багатофункціональністю та можливістю створення продукту з високою споживчою привабливістю.

Колір є важливою характеристикою, яку активно оцінюють споживачі при виборі харчових продуктів. Для забезпечення привабливого вигляду і тривалості збереження кольору в їжу додають барвники. Дуже важливо дотримуватися певних стандартів [7, 8, 16]. По-перше, барвники повинні відповідати вимогам, визначеним регуляторними органами. У країнах, таких як Бразилія, Європейський Союз та Сполучені Штати Америки, існують суворі нормативи для використання барвників. У Бразилії, зокрема, встановлені правила для додавання як натуральних, так і синтетичних барвників до харчових продуктів. Вони повинні бути правильно описані на етикетці продукту, зокрема, вказуватися нормативи, які регулюють застосування барвників. Окрім цього, національні органи, такі як ANVISA в Бразилії, або FDA в США, контролюють концентрацію барвників у

продуктах, аби забезпечити безпеку для споживачів. Це включає як сертифікацію натуральних барвників, так і визначення лімітів для синтетичних.

По-друге, барвники повинні бути стабільними протягом всього циклу їхнього використання – від виробництва до кінцевого споживання. Нестабільність барвників може призвести до змін кольору продукту в результаті впливу факторів, таких як тепло, світло, кисень та окислювальні агенти. Окислення та хімічні реакції в присутності кисню або окислювальних речовин, таких як аскорбінова кислота, можуть значно знижувати ефективність барвників, що призводить до втрати кольору або появи небажаних відтінків. Збереження кольору продукту – це не тільки питання естетики, але й безпеки та якості харчових продуктів.

Натуральні барвники, отримані з рослин, комах та мінералів, характеризуються тим, що є відновлюваними та сталими продуктами [15]. Технології виготовлення натуральних барвників використовували з давніх часів і активно вивчається в останні роки через занепокоєння щодо стану навколишнього середовища та здоров'я людини. Натуральні барвники біорозкладні, нетоксичні та неканцерогенні.

В даний час досягнуто значного прогресу у розробці натуральних харчових барвників щодо процесів екстракції, очищення, стабільності, виявлення нових джерел, технік формулювання та критеріїв гігієни та безпеки. Проте, досі існує потреба в розробці нових натуральних барвників з високою стабільністю та доброю фарбувальною здатністю, які можуть мати широкі промислові застосування [17, 18].

У сучасній харчовій промисловості використання барвників є важливим етапом виробництва продукції, оскільки він впливає на сприйняття продукту споживачами, підвищуючи його привабливість та забезпечуючи відповідність певним стандартам якості. Барвники виконують роль не лише естетичну, але й технологічну, покращуючи вигляд продукту, збільшуючи його привабливість і навіть впливаючи на термін зберігання. Тому, з огляду на збільшення

стурбованості з приводу здоров'я, екології та безпеки продуктів, спостерігається зростаюча тенденція до переходу від синтетичних барвників до натуральних, що викликає великий інтерес у наукових колах та харчовій промисловості.

Порівняльна характеристика натуральних і синтетичних барвників, що відображає їхні переваги і недоліки, представлена у таблиці 1.1. [1, 12].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика натуральних і синтетичних барвників

Параметр	Натуральні барвники	Синтетичні барвники
Походження	Рослини, комахи, мінерали	Хімічні сполуки, синтетичні процеси
Екологічність	Відновлювані ресурси, біорозкладні	Можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище
Токсичність	Нетоксичні, неканцерогенні	Можуть бути токсичними або мати канцерогенні властивості
Стабільність	Менш стабільні (під впливом світла, температури, кисню)	Висока стабільність за умови правильного зберігання
Вартість	Вища вартість через складність екстракції та обмежену доступність	Низька вартість через дешеве виробництво і доступність
Фарбувальна здатність	Зазвичай менш інтенсивні кольори, але можуть бути адаптовані до різних продуктів	Висока фарбувальна здатність, яскраві і стійкі кольори
Регуляція та безпека	Відповідність стандартам органічного виробництва та безпеки	Ретельно контролюють нормативами щодо безпеки та дозування

З огляду на зростаючі вимоги споживачів щодо безпеки харчових продуктів і їхнього впливу на здоров'я, а також на негативний вплив синтетичних барвників на навколишнє середовище, натуральні барвники стають все більш привабливим вибором у харчовій промисловості. Натуральні барвники не лише забезпечують естетичний вигляд продуктів, але й відповідають вимогам щодо екологічності, біорозкладності та безпеки для здоров'я людини. Вони є нетоксичними, неканцерогенними та не викликають алергічних реакцій, що є значною перевагою перед синтетичними барвниками, які можуть мати потенційно шкідливі ефекти.

Проте, незважаючи на численні переваги, натуральні барвники мають деякі обмеження, такі як низька стабільність під впливом світла, температури та кисню, що може знижувати їхню ефективність в деяких виробничих умовах. Однак з розвитком нових технологій екстракції, очищення та стабілізації природних барвників ці обмеження можна мінімізувати. Водночас, синтетичні барвники, хоча й забезпечують високу стабільність і яскравість кольору, можуть мати токсичний вплив на організм, що робить їх менш привабливими для споживачів, які все більше надають перевагу натуральним продуктам. Таким чином, перевага повинна бути надана натуральним барвникам, оскільки вони відповідають вимогам безпеки, екологічності та здорового харчування, що є основними тенденціями у харчовій промисловості в останні роки.

1.2 Вимоги до натуральних барвників для виробництва кондитерських виробів

У сучасній харчовій промисловості спостерігається тенденція до використання натуральних барвників, зокрема в кондитерських виробках, що є результатом зростаючого інтересу споживачів до продуктів, які відповідають принципам здорового харчування та екологічної безпеки. Враховуючи, що макарони є одним із найпопулярніших десертів, їх виробництво потребує особливої уваги до використання барвників, які не лише забезпечують яскравість

кольору, але й відповідають вимогам безпеки та стабільності. Вибір натуральних барвників для макарунів має бути обґрунтованим з точки зору їхньої стійкості до впливу високих температур, вологості та світла, що є важливими факторами під час випікання і зберігання продукції [19, 20]. Окрім того, застосування таких барвників повинно гарантувати збереження смакових якостей та текстури десерту. Це зумовлює необхідність ретельного дослідження натуральних барвників, їхніх властивостей та потенціалу для використання у кондитерському виробництві [6, 15].

Натуральні барвники для кондитерських виробів повинні відповідати низці технічних і безпекових вимог, щоб забезпечити не тільки естетичну привабливість, але й зберегти якість продукції протягом всього її життєвого циклу. Основні вимоги, яким мають відповідати натуральні барвники для кондитерських виробів, зокрема виробництва макарунів, представлено на рисунку 2.1 [2, 6, 7, 21].

Температурні нагрівання

Барвники не повинні втрачати свою інтенсивність при нагріванні.

Світловий вплив

Барвники повинні бути стійкими до світла.

Вологість

Кондитерські вироби, зокрема макаруни, мають високий рівень вологи, що може впливати на стабільність кольору

Рисунок 1.2 – Основні вимоги до використання натуральних барвників для кондитерських виробів

Натуральні барвники для макарунів можуть бути отримані з різних джерел, таких як рослини, овочі, фрукти та спеції. Вибір джерела барвника для кондитерських виробів має велике значення не лише для забезпечення візуальної привабливості, але й для забезпечення безпеки та стабільності продукту. Таким чином, рослинні барвники здатні надавати широкий спектр кольорів, від жовтих та оранжевих до червоних і фіолетових відтінків, що важливо в технологіях створення привабливих і різноманітних макарунів.

У таблиці 1.2 представлено порівняння найбільш популярних натуральних барвників, які застосовують у кондитерському виробництві. Включені дані щодо їх походження, кольорових властивостей, стійкості при різних умовах зберігання, а також можливих обмежень у використанні.

Таблиця 1.2 – Характеристики натуральних барвників для кондитерських виробів

Джерело	Колір	Стабільність	Особливості використання
Морква	Оранжевий	Висока (при правильному зберіганні)	Може змінювати колір при високих температурах або в кислому середовищі
Буряк	Червоний	Середня	Чутливий до світла та кислого середовища
Куркума	Жовтий	Висока	Може зберегти стабільний колір, але чутливий до світла та високих температур
Вишня, черешня	Червоний, фіолетовий	Середня	Зниження інтенсивності кольору при впливі тепла або в кислому середовищі
Гранатовий сік	Червоний, бордовий	Висока	Стабільність кольору при зберіганні, чутливий до тепла, кислих середовищ і світла.

Використання натуральних барвників для кондитерських виробів, зокрема макарунів є важливим аспектом забезпечення якості та безпеки продукту. З огляду на зростаючий інтерес споживачів до здорового харчування та екологічно чистих продуктів, застосування природних барвників стає пріоритетом у сучасному кондитерському виробництві. Натуральні барвники, які отримуються з рослин, фруктів, овочів та спецій, мають перевагу перед синтетичними через їхню біорозкладність, нетоксичність та низьку ймовірність викликати алергічні реакції. Це робить їх оптимальним вибором для виробів, що споживаються людьми з особливими дієтичними потребами, або для тих, хто прагне мінімізувати вплив синтетичних речовин на своє здоров'я.

Застосування натуральних барвників для макарунів повинно відповідати певним вимогам. Одним з основних критеріїв є стабільність кольору під час випікання. Багато натуральних барвників змінюють свій колір під впливом температури, що потребує ретельного вибору відповідних інгредієнтів. Окрім цього, важливо, щоб барвник зберігав свою інтенсивність протягом усього терміну зберігання готової продукції. Це особливо важливо для макарунів, які мають тривалий термін зберігання при умовах правильного зберігання. Натуральні барвники також повинні відповідати вимогам стандартів безпеки, які регламентують їхню допустиму концентрацію в продуктах харчування, а також забезпечувати відсутність токсичних чи канцерогенних ефектів [7, 8, 22].

У зв'язку з цим, аналіз фізико-хімічних властивостей різних натуральних барвників, таких як моркви, куркуми, буряка, вишні чи гранатового соку, дозволяє вибрати оптимальний варіант для конкретного виду кондитерського виробу. Кожен барвник має свої характеристики стабільності, здатність до збереження кольору та вплив на смакові якості продукту. Тому правильний вибір барвника не лише сприяє естетичній привабливості макарунів, а й забезпечує їхню безпеку та високий рівень якості [19-21].

Одним із шляхів отримання натуральних барвників є сільськогосподарське виробництво через відходи харчової промисловості та виробництва напоїв. Крім

цілеспрямованого вирощування фарбувальних рослин, більш прогресивний варіант передбачає утилізацію кольорових відходів побічних продуктів харчової промисловості [23].

У харчовій промисловості та виробництві напоїв утворюється значна кількість біологічних відходів, таких як зіпсовані фрукти, залишки дистиляції, вичавки та інші залишкові побічні продукти, які містять велику кількість рослинних барвників, які можна використовувати в кондитерській промисловості. Багато з цих відходів, наприклад жмих з фруктів, багатих на антоціани (вишня та черешня), а також побічні продукти різнокольорових овочів, таких як буряк і морква, є цінними натуральними барвниками, що придатні для фарбування кондитерських виробів, таких як макарони.

1.3 Вплив фізико-хімічних та технологічних властивостей натуральних барвників на характеристики кондитерських виробів

Використання натуральних барвників у виробництві кондитерських виробів стає все популярнішим завдяки зростаючому попиту на продукти з натуральними інгредієнтами, що відповідають принципам сталого розвитку. Зокрема, це є частиною руху до зеленої хімії – концепції, що акцентує увагу на використанні безпечних, екологічних матеріалів та технологій, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. В умовах глобальних тенденцій до здорового харчування спостерігається відмова від синтетичних барвників, які можуть бути шкідливими для здоров'я людини та екосистем [7, 24].

Натуральні барвники, у свою чергу, не тільки надають кондитерським виробам привабливий зовнішній вигляд, але й сприяють досягненню сталого виробництва завдяки використанню відновлювальних ресурсів, таких як барвникові рослини. Вони відповідають принципам зеленого хімічного виробництва, що передбачає мінімізацію токсичності процесів і зменшення шкідливих відходів. Застосування натуральних барвників у кондитерській

промисловості підтримує екологічно чисте виробництво, що відповідає вимогам сталого розвитку.

Однак, попри екологічні переваги, використання натуральних барвників має певні технологічні труднощі, зокрема пов'язані з їх нестабільністю кольору, високими витратами на виробництво та складністю в зберіганні продуктів. Ці фактори потребують удосконалення технологій виробництва та обробки, що дозволить забезпечити більш стійкий і ефективний процес, який не суперечить принципам сталого розвитку. У цьому контексті важливо орієнтуватися на розвиток методів, які знижують витрати ресурсів, покращують енергоефективність та сприяють збереженню екологічного балансу.

Вибір і застосування натуральних барвників у кондитерській промисловості залежать не лише від їхніх фізико-хімічних характеристик, але й від технологічних властивостей. Ці властивості визначають поведінку барвників у процесах виробництва, зокрема їх здатність до рівномірного розподілу, стабільність у технологічних умовах, вплив на текстуру та смакові якості кінцевого продукту.

Натуральні барвники, що використовують в кондитерському виробництві, мають значний вплив на органолептичні характеристики кінцевих виробів. Фізико-хімічні властивості таких барвників, зокрема їх стабільність при зміні температури, кислотності середовища та впливу світла, визначають їх ефективність і тривалість використання в технологічних процесах. Однією з основних характеристик натуральних барвників є їх здатність до змінювати колір в залежності від умов середовища, що, в свою чергу, може впливати на кінцевий вигляд та привабливість кондитерських виробів [1-3].

Важливим аспектом є також технологічна поведінка натуральних барвників у процесах приготування кондитерських виробів. Вони повинні бути здатними до рівномірного розподілу по масі продукту, не викликати утворення осадів або небажаних смакових змін. Натуральні барвники, порівняно з синтетичними, мають певні обмеження в стабільності під час високотемпературної обробки, що

потребує оптимізації технологічних параметрів виробництва. Зокрема, температурний режим, тривалість теплової обробки, а також додавання інших інгредієнтів можуть суттєво вплинути на збереження їх колірних характеристик. Водночас, можливість застосування натуральних барвників відкриває нові перспективи для створення продуктів з підвищеною харчовою цінністю, адже вони здатні збагачувати кондитерські вироби корисними біоактивними сполуками, такими як вітаміни, антиоксиданти та інші фітонутрієнти.

Одним із важливих аспектів є питання сумісності натуральних барвників з іншими інгредієнтами рецептури, такими як цукор, кислоти, жири та білки. Ці компоненти можуть змінювати колір барвників або впливати на їхню стабільність, що вимагає врахування під час розробки рецептури. Крім того, барвники можуть мати різний ступінь розчинності у воді або органічних розчинниках, що визначає методи їх введення в технологічний процес [1, 5].

Таким чином, вплив фізико-хімічних та технологічних властивостей натуральних барвників на характеристики кондитерських виробів є багатограним і залежить від множини факторів, таких як їх хімічний склад, стабільність у різних умовах середовища, а також взаємодія з іншими інгредієнтами. Для досягнення оптимальних результатів в виробництві кондитерських виробів з натуральними барвниками необхідно ретельно вивчати їх характеристики, коригувати технологічні процеси та умови зберігання, а також розробляти нові підходи до застосування таких барвників, що дозволить не лише забезпечити високу якість кінцевого продукту, але й підвищити його харчову цінність та привабливість для споживачів.

2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика об'єктів дослідження

Натуральні барвники з моркви, буряка, куркуми та гранатового соку мають унікальні властивості, які визначають їх застосування у харчовій промисловості, зокрема у кондитерських виробках [1-3]. В дослідженнях кваліфікаційної роботи використано водо-та жиророзчинні натуральні барвники з буряка, гранатового соку, моркви, куркуми.

В барвника з моркви основними пігментами є каротиноїди (бета-каротин, альфа-каротин, лютеїн). Одержують методом екстракції з свіжої або сушеної моркви. Колірна гамма від жовтого до помаранчевого.

Фізико-хімічні властивості. Нерозчинний у воді, добре розчинний у жирах та органічних розчинниках. Стійкий до дії світла, але чутливий до високих температур та окислення. Стабільний рН в широкому діапазоні рН від 3 до 8.

Широко застосовують в технологіях виробництва кондитерських виробів, зокрема, в кремах, глазурах, карамелях, жувальних цукерках.

В барвника з буряка основними пігментами є беталаїни (бетаціаніни, бетаксантани). Одержують з концентрату соку червоного буряка. Колірна гамма від червоного до фіолетового.

Фізико-хімічні властивості. Добре розчинний у воді. Чутливий до дії температури, світла та кисневого середовища. Найстабільніший при рН від 4 до 5, змінює колір у лужному середовищі (жовтуватий).

Широко застосовують в технологіях виробництва кондитерських виробів желатинових десертів, льодяників, глазури, йогуртів, соків.

В барвника із куркуми основним пігментом є куркумін. Одержують з подрібненого кореню куркуми або спиртових екстрактів. Колірна гамма насичені жовті кольори.

Фізико-хімічні властивості. Погано розчинний у воді, добре розчинний у спиртах і жирах. Чутливий до дії світла, але термостійкий. Найстабільніший у нейтральному та слабо-кислому середовищі рН від 6 до 7. При рН > 8 колір змінюється на червоний.

Широко застосовують в технологіях виробництва кондитерських виробів для виготовлення білкових батончиків, печива, глазури, кремових виробів.

В барвника із гранатового соку основними пігментами є антоціани (дельфінідин, ціанідин). Одержують з концентрату свіжого гранатового соку. Колірна гамма від червоного до фіолетового.

Фізико-хімічні властивості. Добре розчинний у воді. Чутливий до високих температур і світла. Колір змінюється від червоного, в кислому середовищі (рН < 3) до синього в лужному середовищі (рН > 7).

Широко застосовують в технологіях виробництва кондитерських виробів напоїв, желе, мармеладу, заморожених десертів.

Характеристики натуральних барвників використаних в дослідженнях наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики натуральних барвників

Параметр	Морква	Буряк	Куркума	Гранатовий сік
Основний пігмент	Каротиноїди	Беталаїни	Куркумін	Антоціани
Колір	Жовто-оранжевий	Червоний	Жовтий	Червоний-фіолетовий
Розчинність	У жирах	У воді	У жирах	У воді
Залежність від рН	Незначна	Висока	Помірна	Висока

Кожен з об'єктів дослідження має унікальні властивості, що визначають їх придатність до використання в технологіях виробництва різних типів кондитерських виробів. Наприклад, морква та куркума є більш стабільними

барвниками, тоді як буряк і гранатовий сік потребують ретельного контролю умов використання. Тому важливо визначати та аналізувати фізико-хімічні властивості натуральних барвників з метою прогнозування оптимальних способів їх застосування в рецептурах кондитерських виробів.

2.2 Методи ІЧ-спектроскопії для аналізу структури натуральних барвників

Спектральні методи використовують для визначення елементного складу за допомогою аналізу спектра світла або електромагнітного випромінювання: атомно-абсорбційна спектрометрія (визначення концентрацій металів у зразку); ІЧ-спектроскопія (вивчення коливань молекул за допомогою інфрачервоного випромінювання); УФ-спектрометрія (визначення речовин за поглинанням ультрафіолетового світла).

ІЧ-спектроскопія дозволяє вивчати молекулярну структуру на основі коливань молекул. Результати досліджень використовують в різних галузях наприклад, екологія, а саме, контроль якості повітря, води, ґрунту на наявність забруднювальних речовин; фармацевтика – контроль якості лікарських засобів, визначення концентрації активних інгредієнтів; харчова промисловість – визначення складу продуктів харчування, виявлення шкідливих домішок; нафтова промисловість визначення хімічного складу нафтопродуктів та контролю їх якості; косметологія – визначення концентрації активних інгредієнтів, складу компонентів, виявлення шкідливих домішок тощо.

Детальне дослідження структури натуральних барвників проведено за допомогою спектрального аналізу зразків на ІЧ-Фур'є спектрометрі IRAffinity-1. Метод характеризується простотою у виконанні для визначення структури натуральних барвників за максимумом у спектрах власного поглинання у видимій ділянці спектра [6, 14].

2.3 Методи визначення рН натуральних барвників

Визначення рН натуральних барвників є важливим для оцінки їхніх властивостей та стабільності в різних умовах. Основні методи вимірювання включають використання стандартного лабораторного обладнання та хімічних індикаторів. Значення показника рН зразків натуральних барвників визначали за допомогою рН-метра РН-200.

Для визначення рН за допомогою рН-метра РН-200 готують дослідні розчини барвників в дистильованій воді. Відкалібровують рН-метр за допомогою стандартних буферних розчинів (рН 4, 7, 10). Електрод рН-метра занурюють в розчин барвника. Після стабілізації показники рН-метра записують значення. За допомогою рН-метра досягається висока точність вимірювання $\pm 0,01$ рН у широкому діапазоні значень. Для кореляції одержаних даних та досягнення точності вимірювань необхідне калібрування приладу.

2.4 Спектрометричні методи визначення флавоноїдів у натуральних барвниках

Флавоноїди – це природні сполуки, які забезпечують біологічну активність і можуть впливати на колір барвників. Для їх кількісного та якісного визначення застосовуються різні аналітичні методи. Основним з них є визначення флавоноїдів спектрофотометричним методом. Принцип методу полягає у взаємодії флавоноїдів із реагентами, з утворенням забарвлених комплексів, які поглинають світло на певній довжині хвилі.

Для утворення комплексу із флавоноїдами, широко використовують ферум хлорид (FeCl_3) при максимумі поглинання від 415 до 430 нм. До зразків барвників (морква, гранатовий сік, буряк, куркума) додають реагент FeCl_3 . Вимірюють поглинання спектрофотометром. Розраховують концентрацію флавоноїдів за калібрувальним графіком.

Спектрофотометричний метод це один із найпоширеніших способів кількісного визначення флавоноїдів у рослинних екстрактах, зокрема натуральних барвниках. Він базується на утворенні кольорових комплексів між флавоноїдами та хімічними реагентами, що мають специфічне поглинання світла на певних довжинах хвиль.

До зразка натурального барвника (морква, гранатовий сік, буряк, куркума) додають ферум хлорид (FeCl_3), який утворює комплекси із флавоноїдами. В якості еталону застосовують калібрувальний розчин рутин, кверцетин або інший чистий флавоноїд. Стандарт титри буферних розчинів для контролю рН (за потреби).

Вимірювання здійснюють на спектрофотометрі із діапазоном довжин хвиль від 190 до 800 нм. Використовують кювети із кварцу або пластику для УФ-спектру, лабораторний посуд (піпетки, мірні колби, пробірки). За допомогою спектрофотометру ULAB 102UV SPECTROPHOTOMETER досліджено вміст поліфенолів у зразках барвників.

Ферум хлорид (FeCl_3) реагує з гідроксильними групами флавоноїдів, утворюючи жовтий або жовто-зелений комплекс із максимумом поглинання в діапазоні від 415 до 430 нм. Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації флавоноїдів у зразку.

Для підготовки дослідних зразків барвників екстракцією флавоноїдів, барвник (буряк, морква, гранатовий сік, куркума) подрібнюють. Проводять екстракцію метанолом або етанолом (70 %) протягом від 2 до 4 годин при кімнатній температурі. Фільтрують розчин через паперовий фільтр або центрифугують для очищення. Отриманий екстракт барвника розводять дистильованою водою до потрібної концентрації.

Для побудови калібрувальної кривої готують серію розчинів стандартного флавоноїду (наприклад, рутину) у концентраціях 10, 20, 50, 100, 200 мкг/мл. До кожного додають реагент (1 мл FeCl_3 , 10 % розчин у спирті). Вимірюють поглинання при діапазоні від 415 до 430 нм. Будують калібрувальну криву залежності поглинання від концентрації.

Для аналізу, зразок барвника 1 мл (екстракту барвника), додають 1 мл 10 % FeCl₃. Інкують від 10 до 15 хвилин при кімнатній температурі. Вимірюють поглинання при тій самій довжині хвилі, що для калібрувального розчину. Контрольний зразок – аналогічний розчин барвника, але без додавання FeCl₃ (контрольний зразок для корекції фону). Концентрацію флавоноїдів розраховують за формулою:

$$C = \frac{D_3 - D_k}{k}$$

де C – концентрація флавоноїдів (мг/мл);

D₃ – оптична густина зразка;

D_k – оптична густина контрольного зразка

k – коефіцієнт калібрувальної кривої.

Метод спектроскопії простий та доступний. Висока точність методу, можливість аналізу забарвлених розчинів. Дає високу точність для концентрацій у діапазоні від 10 до 200 мкг/мл. Однак, неможливо визначити окремі типів флавоноїдів. Фонове забарвлення дослідних зразків може впливати на результати, особливо для насичених кольорових барвників, наприклад, буряк чи гранатовий сік.

Цей метод підходить для загальної оцінки вмісту флавоноїдів у барвниках і є базовим для подальших досліджень із використанням більш складних аналітичних методів (HPLC, мас-спектрометрія).

Гранатовий сік містить значну кількість антоціанів, які добре визначаються цим методом. Хоча морква містить незначну кількість флавоноїдів, метод підходить для їх оцінки.

Екстракцію флавоноїдів здійснюють за допомогою метанолу з додаванням невеликої кількості хлоридної кислоти (HCl). Флавоноїди присутні в незначних кількостях, методи визначення потребують чутливого обладнання.

Екстракцію гранатового соку здійснюють шляхом осадження білків і розчинення антоціанів у спирті. Містить велику кількість антоціанів, які визначають спектрофотометрично або хроматографічно. Беталаїни, не флавоноїди, є основними пігментами буряка, однак невелика кількість флавоноїдів може бути виділена спиртовою екстракцією. Екстракцію куркуміну та його похідних здійснюють за допомогою етанолу чи метанолу.

Для спектрофотометрії зразків барвника готують серію розчинів серію із відомими значеннями рН. Порівнюють поглинання світла натурального барвника при різних рН на визначеній довжині хвилі. Будують калібрувальну криву, яка дозволяє визначити рН зразка за його спектральними характеристиками.

Калібрувальний графік рутину будують для встановлення залежності між концентрацією стандартного розчину рутину та величиною оптичної густини D , вимірної спектрофотометрично. Це необхідно для подальшого визначення концентрації флавоноїдів у зразках.

Використовують стандартний розчин рутину, 10 % розчин феруму хлориду (FeCl_3), етанол 70 %, спектрофотометр з діапазоном довжин хвиль від 190 до 800 нм, кювети (1 см шляху), лабораторний посуд (мірні колби, пробірки, піпетки).

Для підготовки стандартних розчинів рутину (приготування маточного розчину рутину), зважують 10 мг рутину та розчиняють у 100 мл 70 % або етанолу (концентрація 100 мкг/мл).

Для проведення вимірювання готують розчини концентраціями 10, 20, 50, 100, 200 мкг/мл, розведенням маточного розчину водою. До кожного розчину об'ємом 1 мл кожного стандартного розчину рутину додають 1 мл 10 % FeCl_3 , 2 мл дистильованої води добре перемішують. Інкують 10 хвилин при кімнатній температурі. Вимірюють оптичну густину D (поглинання) кожного розчину на

спектрофотометрі при довжині хвилі від 415 до 430 нм. Вимірюють контрольний розчин (без FeCl_3) для корекції. Будують графік залежності оптичної густини OD від концентрації рутину (мкг/мл). Нанесять точки для кожної концентрації та будують графік. Виконують лінійну апроксимацію, одержують лінійне рівняння прямої:

$$y=k \cdot x+b$$

де, y – оптична густина;

x – концентрація рутину (мкг/мл);

k – коефіцієнт нахилу (поглинання на одиницю концентрації);

b – зсув, зазвичай близький до 0.

Коефіцієнт кореляції R^2 має бути не менше 0,99 для якісного калібрувального графіка.

Після побудови калібрувального графіка вимірюють оптичну густина зразка із барвником, визначають концентрацію флавоноїдів із рівняння прямої, підставивши значення OD. У разі потреби проводять додаткове розведення зразка, якщо OD виходить за межі побудованого графіка.

Для аналізу дослідних розчинів буряка, куркуми, моркви та гранатового соку використовують спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити оптичну густина OD при різних довжинах хвиль. Це значення відображає інтенсивність поглинання світла, що пропорційна концентрації пігментів у розчині.

Для вимірювання використовують екстракт беталаїнів (буряк), екстракт куркуміну (куркума), екстракт каротиноїдів (морква), екстракт антоціанів (гранатовий сік). Зразки розводять 70 % етанолом або дистильованою водою для зменшення інтенсивності кольору (рекомендовано розведення 1:10 або 1:20

залежно від насиченості кольору). У разі потреби проводять фільтрацію для видалення нерозчинних частинок.

Контрольний зразок – чистий розчинник (етанол, вода) для обнулення спектрофотометра.

При налаштуванні спектрофотометра обирають довжину хвилі, необхідну для кожного барвника:

- курак від 530 до 540 нм (максимум поглинання беталаїнів);
- куркума від 420 до 430 нм (максимум поглинання куркуміну);
- морква від 450 до 470 нм (максимум поглинання каротиноїдів);
- гранатовий сік від 500 до 520 нм (максимум поглинання антоціанів).

Як нульовий зразок використовують розчинник – воду. Для вимірювання беруть по 2 мл кожного зразка та поміщають у кювету (шлях світла 1 см). вимірюють оптичну густину для кожного зразка при відповідній довжині хвилі. Вимірювання повторюють тричі та розраховують середнє значення.

Для експрес-методів використовують індикаторні папірці або хімічні індикатори. Для точних вимірювань використовують рН-метри, для забарвлених розчинів спектрофотометрію. Вибір методу залежить від необхідної точності, умов роботи та типу барвника.

Для забезпечення точності та надійності результатів важливо дотримуватися таких заходів. Регулярне калібрування аналітичних приладів. Використання сертифікованих стандартів та еталонних зразків для порівняння результатів. Дотримання експериментальних методик – виконання досліджень за стандартизованими методиками, що забезпечують відтворюваність результатів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАТУРАЛЬНИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

3.1 Характеристика натуральних барвників, які застосовують в технологіях кондитерських виробів

Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей натуральних барвників для кондитерських виробів є важливим етапом розробки якісної харчової продукції. Такі дослідження дозволяють оцінити їх стабільність, ефективність, безпечність і вплив на кінцевий продукт. Основні аспекти такого дослідження включають фізико-хімічні, технологічні, органолептичні характеристики натуральних барвників.

Дослідження цих властивостей дозволяє вибрати найкращі натуральні барвники для використання у виробництві кондитерських виробів, забезпечуючи їх якість, естетичність і безпечність.

Антоціани належать до групи рослинних глікозидів, структура яких включає аглікон (антоціанідин), що є гідрокси- або метокси-заміщеною сіллю флавілію (2-фенілхроменілю). Вуглеводна частина антоціанів представлена залишками моносахаридів (глюкози, рамнози, галактози) або більш складними структурами, такими як ди- чи трисахариди, які зазвичай приєднані до аглікона в положенні 3, інколи в положеннях 3 і 5. До складу антоціанів входить близько 10 основних видів, але наразі відомо понад 500 індивідуальних антоціанових сполук, і їх кількість постійно зростає [6, 17, 25].

У таблиці 3.1 наведено основні фізико-хімічні, технологічні властивості натуральних барвників, які слід враховувати під час їх використання у технологіях виробництва кондитерських виробів.

Таблиця 3.1 – Фізико-хімічні, технологічні властивості натуральних барвників

Барвник	Основний пігмент	pH	Стійкість до температури	Розчинність
Куркума	Куркумін	Від 3 до 7	Висока	Водорозчинний у вигляді емульсії
Вишня, Черешня	Антоціани	Від 2 до 5	Помірна	Водорозчинний
Морква	Каротиноїди	Від 4 до 8	Висока	Жиророзчинний
Буряк	Бетанін	Від 4 до 6	Низька	Водорозчинний
Гранатовий сік	Антоціани, таніни	Від 2 до 4	Помірна	Водорозчинний

Хімічна структура антоціанів базується на C_{15} -вуглецевому скелеті, що складається з двох бензольних кілець (А і В), з'єднаних C_3 -фрагментом, який формує γ -піронове кільце разом із атомом кисню (рисунок 3.1).

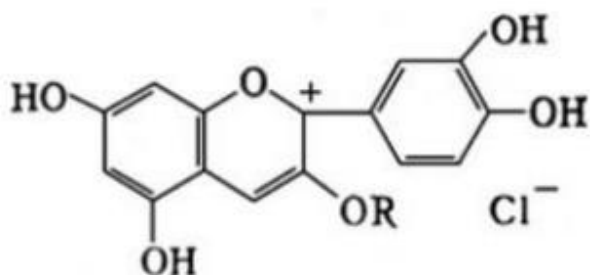


Рисунок 3.1 – Структурна формула антоціанів

Характерною рисою антоціанів серед інших флавоноїдних сполук є наявність позитивного заряду та подвійного зв'язку в С-кільці, що визначає їхні унікальні фізико-хімічні властивості та біологічну активність [25].

Антоціани накопичуються в плодах і овочах у процесі їх дозрівання, виступаючи індикатором ступеня стиглості. Вони відповідають за характерне забарвлення рослинних тканин у фіолетові, сині, темно-червоні, та рожеві відтінки. Зокрема, у вишні, черешні та гранатовому соку антоціани надають характерних червоних, бордових і пурпурних кольорів, інтенсивність яких залежить від сорту, ступеня стиглості та умов зберігання.

Колірні особливості антоціанів зумовлені їх хімічною будовою, кислотно-лужним балансом клітинного соку та здатністю утворювати комплекси з металами. У кислому середовищі антоціани проявляють червоне забарвлення, тоді як у лужному – синє. Наприклад, гранатовий сік, що має кислий рН, насичений яскраво-червоними антоціанами, які є стійкими за низьких значень рН, але можуть змінювати колір у більш нейтральних або лужних умовах.

Комплексоутворення антоціанів із металами також суттєво впливає на кольорову гаму. Червоне забарвлення виникає внаслідок взаємодії із залізом, сині та фіолетові відтінки обумовлені комплексами з магнієм, молібденом чи кальцієм, а пурпурні – з калієм. Біле забарвлення формується у зв'язку з міддю чи нікелем.

Крім того, для вишні, черешні та гранатового соку характерна зміна кольору залежно від кількості метильних груп у структурі антоціанів. Збільшення цих груп спричиняє зсув забарвлення в бік червоних відтінків завдяки електронним змінам у молекулі.

Антоціани, що містяться у вишні, черешні та гранатовому соку, мають великий потенціал для використання в харчовій промисловості як натуральні барвники. Завдяки їхній здатності змінювати колір залежно від умов середовища та високій насиченості відтінків, ці природні сполуки ідеально підходять для створення екологічно чистих та естетично привабливих продуктів.

Куркумін є природним барвником, що належить до класу поліфенолів і міститься в кореневищах куркуми (*Curcuma longa*). Він є основним активним компонентом, який відповідає за характерне яскраво-жовте забарвлення рослини [24]. Куркумін відомий своїми антиоксидантними, протизапальними та

антимікробними властивостями, що робить його перспективним не лише як барвник, але й як функціональний інгредієнт у харчовій промисловості. На рисунку 3.2 представлена структурна формула куркуміну.

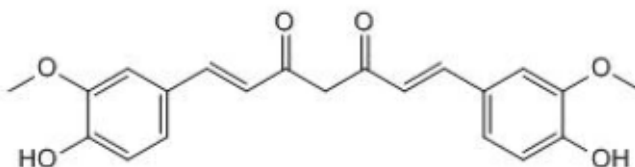


Рисунок 3.2 – Структурна формула куркуміну

Як видно з рисунку 3.2, куркумін складається із двох бензольних кілець (А і В), які сполучені між собою за допомогою α , β -ненасиченого дієнового ланцюга та двох кетонних груп.

Гідроксильні групи (-ОН) знаходяться на обох бензольних кільцях у положенні 4. Ці групи відповідають за полярність молекули і її антиоксидантні властивості.

Метоксигрупи (-ОСН₃) розташовані на бензольних кільцях у положенні 3. Метоксигрупи роблять куркумін більш ліпофільним і забезпечують його стабільність у ліпідному середовищі.

Кетонні групи (C=O) знаходяться в центральній частині молекули та містять дві карбонільні групи (кетони), які беруть участь у таутомеризації. Ці групи відіграють важливу роль у хімічній реакційній здатності куркуміну.

Центральний дієновий ланцюг між двома бензольними кільцями утворює кон'юговану систему, що надає молекулі її характерний жовтий колір.

Таким чином, куркумін є поліфенольним сполукою, що пояснює його антиоксидантні, протизапальні та антибактеріальні властивості. Завдяки гідроксильним і метоксигрупам, куркумін здатний зв'язувати вільні радикали.

Кон'югована система є відповідальною за здатність куркуміну до флуоресценції та забарвлення.

Структура куркуміну, що містить бензольні кільця, метоксигрупи, гідроксильні групи і центральний дієновий ланцюг із кетонами, забезпечує йому унікальні хімічні та біологічні властивості, що робить його перспективним у різних галузях. Куркумін також здатний утворювати комплекси з металами, що може впливати на його колір і стабільність. Наприклад, утворення комплексів із залізом або магнієм сприяє збереженню інтенсивного кольору, тоді як взаємодія з іншими металами може призводити до небажаних змін відтінків.

Завдяки яскравому кольору, стабільності в кислому середовищі та безпечності для здоров'я куркумін широко використовується як натуральний барвник у харчовій промисловості. Його застосування є особливо актуальним у виробництві кондитерських виробів, напоїв і соусів, де він надає продуктам привабливого жовтого відтінку. Однак його обмежена розчинність і чутливість до лужного середовища залишаються технологічними викликами, які потребують вирішення для розширення застосування цього природного барвника.

Куркумін, завдяки своїм унікальним властивостям, відповідає принципам зеленої хімії, забезпечуючи екологічно чисту альтернативу синтетичним барвникам і сприяючи сталому розвитку у харчовій промисловості [7, 11, 16].

Моркву широко використовують як природний барвник завдяки вмісту каротиноїдів, зокрема β -каротину, який надає їй характерний помаранчевий колір. Цей пігмент є основним барвником в моркві і застосовують в різних галузях, зокрема в харчовій промисловості для кондитерських виробів. Структура β -каротину зображена на рисунку 3.3.

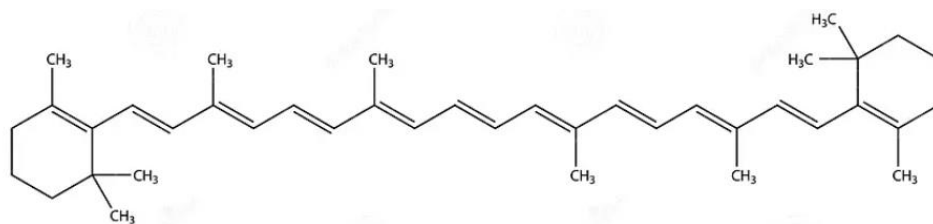


Рисунок 3.3 – Структурна формула β -каротину

Як видно з рисунку 3.5, структура β -каротину складається з довгого ланцюга вуглеводневих зв'язків, що містить кілька подвійних зв'язків, які визначають його властивості як пігмент. β -каротин має довгу вуглецеву ланку, що складається з 8 ізопренових одиниць (5 атомів вуглецю кожна), з'єднаних подвійними зв'язками, що дають молекулі характерний жовто-помаранчевий колір.

На одному кінці молекули є цикл, що складається з шести атомів вуглецю, з яких п'ять мають водневі групи (CH_3) і один – подвійний зв'язок. Ці цикли сприяють стабільності молекули. Між атомами вуглецю існують кілька подвійних зв'язків, які забезпечують характерні кольорові властивості β -каротину, дозволяючи йому поглинати світло в певних частинах спектра. На деяких атомах вуглецю молекули β -каротину присутні метильні групи, що також впливають на властивості цього пігменту.

Молекула β -каротину має сильну антиоксидантну активність і є провітаміном А, оскільки може перетворюватися в організмі на вітамін А, що необхідний для зору, імунної системи та здоров'я шкіри.

Однак важливо зазначити, що використання каротиноїдів як пігментів вимагає контролю за дозуванням, оскільки надмірна кількість цього пігменту може змінювати смакові якості продукту, надаючи йому специфічний присмак. Крім того, каротиноїди можуть бути чутливими до впливу світла і кисню, що вимагає спеціальних умов зберігання готових виробів для збереження їх кольору та харчової цінності.

Таким чином, застосування каротиноїдів, зокрема β -каротину, у кондитерській промисловості є ефективним методом для досягнення яскравих кольорів та одночасного збагачення продуктів корисними властивостями. Це робить їх популярним вибором серед виробників, які прагнуть поєднати естетичний вигляд і корисність своїх виробів [1-3].

Бетанін – це природний червоний пігмент, що міститься в буряку (*Beta vulgaris*). Він є одним із представників групи беталаїдів і надає бурякам їх

характерний червоний колір. Бетанін має високу водорозчинність, що дозволяє його ефективно використовувати в різних харчових продуктах, зокрема в кондитерських виробках. Завдяки своїм властивостям, бетанін стає популярним вибором серед виробників, які шукають натуральні барвники для своїх продуктів. Структурна формула бетаніну зображена на рисунку 3.4.

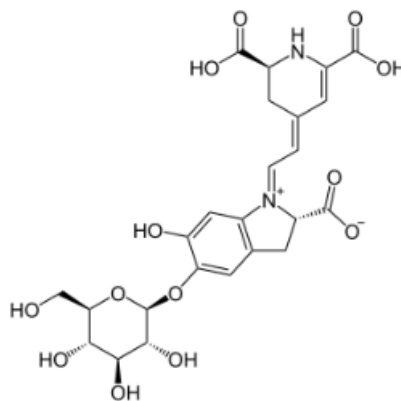


Рисунок 3.4 – Структурна формула бетаніну

Структурна формула бетаніну включає кілька основних елементів, а саме, фенольне кільце є частиною молекули, яке містить гідроксильні групи (-ОН), що є важливими для стабільності пігменту та його водорозчинних властивостей. На структурі видно молекулу глюкози, що приєднана до ароматичного кільця через кисневий місток (O), що характерно для глікозидних сполук. Бетанін містить аміногрупу, що містить атом азоту (N), який є частиною молекули, надаючи їй додаткові електронні властивості. Молекула також містить декілька гідроксильних груп (-ОН), які забезпечують водорозчинність бетаніну і його здатність до стабільності в певних умовах рН.

Бетанін вважають безпечним для споживання та має дозовані норми використання, затверджені харчовими організаціями, такими як FDA (Управління з контролю за продуктами і ліками США) [7, 8, 16].

Як і багато інших природних пігментів, бетанін володіє антиоксидантними властивостями, що може додатково підвищувати корисні властивості кондитерських виробів.

При використанні бетаніну в кондитерських виробках важливо дотримуватися правильних умов виробництва і зберігання для забезпечення максимальної стабільності кольору та збереження його якості. Як правило, бетанін додається в рідкі або гелеподібні продукти на етапі їх приготування, коли температура і рН знаходяться в межах, які забезпечують стабільність пігменту.

Для отримання оптимального результату важливо контролювати температуру і рН середовища, а також використовувати спеціальні методи зберігання, які мінімізують вплив світла і кисню. Зокрема, для кондитерських виробів часто використовують пакування, що захищають від впливу цих факторів.

Використання бетаніну як пігменту в кондитерських виробках є ефективним способом надання натурального кольору продуктам, зокрема червоним або пурпуровим відтінкам. Завдяки своїм безпечним і корисним властивостям, а також здатності надавати яскравий колір, бетанін є популярним вибором серед виробників, орієнтованих на здоров'я споживачів. Однак, для досягнення найкращих результатів необхідно враховувати його чутливість до рН, температури та умов зберігання продуктів.

3.2 Аналіз ІЧ-спектрів барвників рослинного походження

Для детального дослідження структури натуральних барвників проведено спектральний аналіз зразків, за допомогою ІЧ-Фур'є спектрометру IRAffinity-1. Метод характеризується простотою у виконанні для визначення структури натуральних барвників за максимумом у спектрах власного поглинання у видимій ділянці спектра [6, 26].

Червоний буряк є відомим харчовим продуктом (*Beta vulgaris*). Як харчовий барвник, барвник з буряка зареєстровано під номером E162. Основним барвним компонентом буряка є барвник бетанін, який також називають Beetroot Red [4, 16]. Цей барвник містить три функціональні групи карбонової кислоти та кілька гідроксильних груп. Для цього він добре розчиняється у воді. Розчинена у воді ця

молекула барвника демонструє негативний сумарний заряд через депротонування кислотних груп. Його можна розглядати як аніонний барвник, який, ймовірно, має хорошу спорідненість з природними волокнами на основі білка. Далі до хромофора молекули барвника приєднується одиниця глюкози.

Широке використання бурякового барвника в харчовій промисловості зумовлене безпечністю та натуральністю такого барвника. Поєднання бурякового барвника в рецептурах кондитерських виробів, потребує детального дослідження. ІЧ-спектр сухого бурякового порошку представлено на рисунку 3.5.

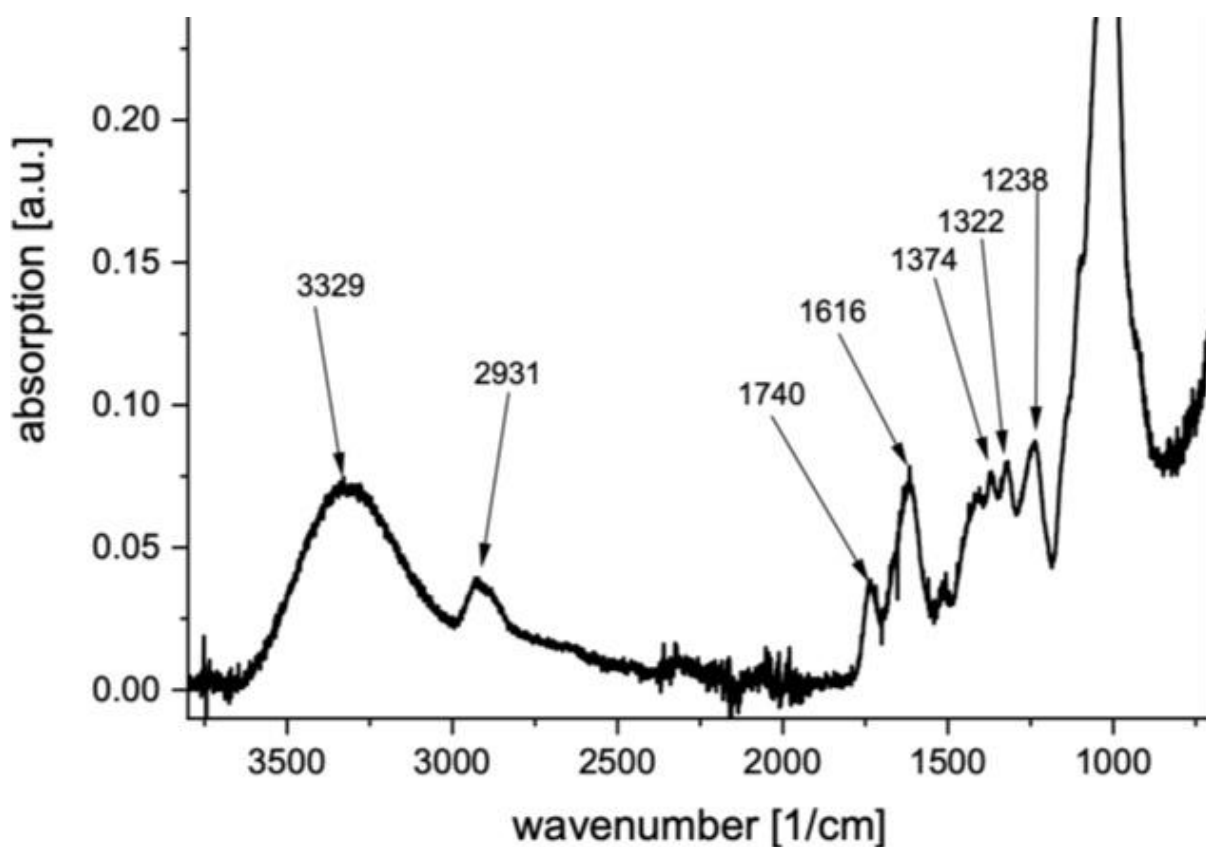


Рисунок 3.5 – ІЧ-спектр барвника з буряку

Основним компонентом барвника з буряка є вуглеводи, тому фактично в ІЧ-спектрі домінують вуглеводи, а не кольоровий компонент із значно меншим вмістом. Аналіз ІЧ-спектру барвника, отриманого з буряка, дозволяє ідентифікувати функціональні групи, які входять до складу його хімічної структури. Основним пігментом буряка є бетанін, який належить до класу

беталаїнів. Його аналіз допомагає оцінити чистоту барвника, можливі домішки та стабільність.

Характерними ділянками ІЧ-спектру бетаніну є гідроксильні групи -ОН, широка смуга поглинання в діапазоні 3200–3600 cm^{-1} . Ця смуга свідчить про наявність численних гідроксильних груп у молекулі. Аміногрупи -NH, =NH, поглинання в області 3200–3400 cm^{-1} (розтягувальні коливання). Смути частково перекриваються з гідроксильними.

Карбоциклічні системи (бензоїдні та інші ароматичні кільця) мають характерні смуги в діапазоні 1500–1600 cm^{-1} , що відповідають деформаційним коливанням C=C у ароматичних системах. Карбонільні групи C=O мають сильне поглинання в області 1650–1750 cm^{-1} . Ці групи є у складі бетаніну, зокрема в його карбоксильній частині.

Ефірні групи C-O-C – поглинання в області 1000–1300 cm^{-1} (розтягувальні коливання C-O). Смути поглинання в області 1250–1350 cm^{-1} свідчать про присутність азотовмісних структур -C=N, =N-O.

Характерні коливання СН-груп (метиленові та метильні групи) дають слабкі смуги в діапазоні 2800–3000 cm^{-1} , розтягувальні коливання C-H.

Домішки, такі як пектинові речовини, білки чи вуглеводи, можуть проявлятися у вигляді додаткових смуг у діапазонах від 1000 до 1200 cm^{-1} C-ОН у вуглеводах та від 1650 до 1550 cm^{-1} в амідних групах у білка.

Гранат (*Punica granatum*) – середземноморське дерево невеликої висоти до 5 метрів. Шкірка плодів граната містить кілька природних барвників, таких як галова кислота або флавогалол [23, 25]. Шляхом екстрагування барвника зі шкірки плодів відходи харчовим харчового виробництва, перетворюють на цінні барвники. Хімічна структура флавогалолу побудований великою ароматичною системою, що містить шість гекса-кілець. Він містить три циклічних ефіри, які входять до складу хромофора. Приєднані ще чотири гідроксигрупи. Водні екстракти граната використовують для фарбування харчової продукції, зокрема кондитерських виробів.

Інфрачервоний спектр барвника з екстракту граната представлено на рисунку 3.6. Досліджуваний барвник є екстрактом із шматочків граната, отриманих із залишків харчового виробництва.

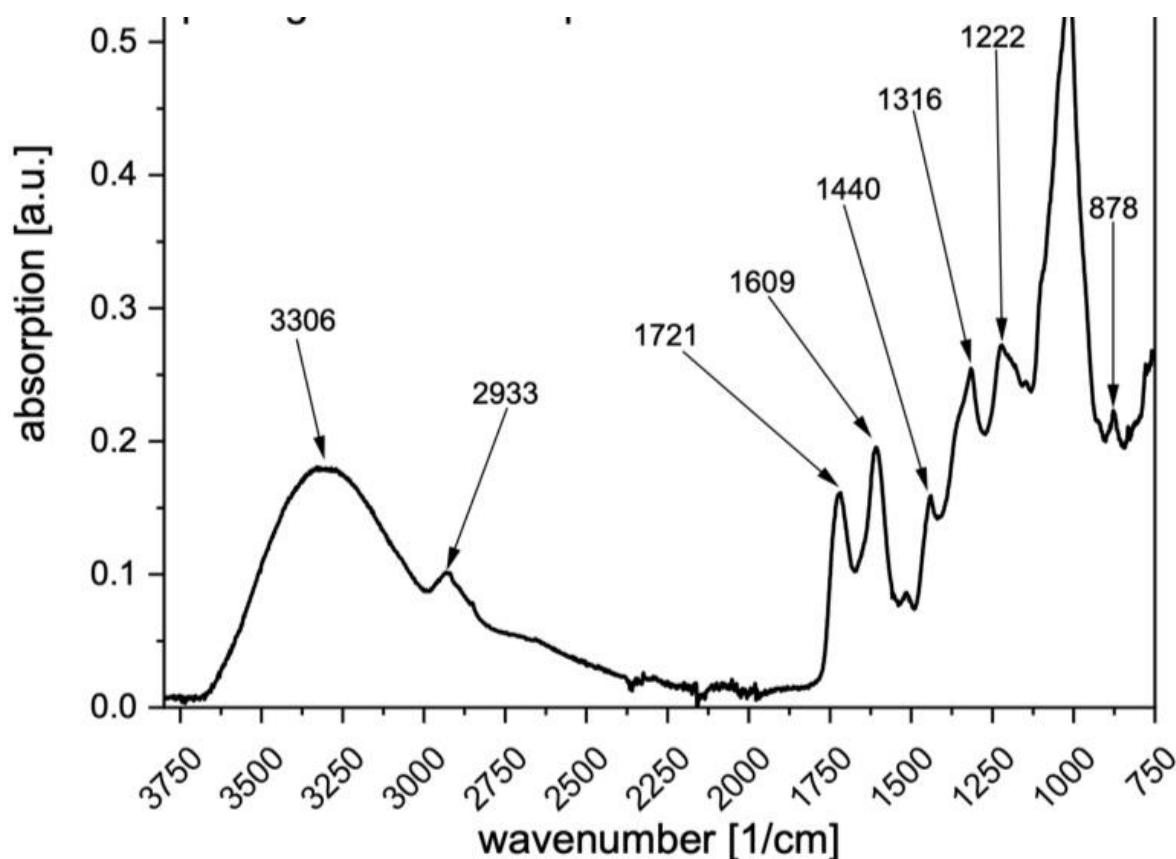


Рисунок 3.6 – ІЧ-спектр барвника з гранату

Особливість ІЧ-спектру зумовлена хімічною структурою флавогалолу. Галова кислота є одним із основних компонентів кольору граната. Широкий пік при 3306 cm^{-1} можна віднести до валентних коливань О-Н гідроксильних груп. Слабкі піки при 2933 cm^{-1} пов'язаний з валентними коливаннями С-Н. Обидва піки при 1721 cm^{-1} і 1609 cm^{-1} можна віднести до валентної вібрації С=О, ймовірно пов'язаної з циклічними складно ефірними групами в молекулі барвника. Одна циклічна складно ефірна група є сусідом у структурі з гідрокси групою, тому утворений тут внутрішньо-молекулярний водневий місток може послабити міцність зв'язку С=О. Таким чином відповідні піки в ІЧ-спектрі зміщено в бік

нижчих хвильових чисел. В деяких положеннях піки дещо зміщені, що можна пояснити побічними продуктами, присутніми у висушених шматочках рослини, які видаляються під час процесу екстракції.

З хімічної точки зору каротинові барвники побудовані лише двома хімічними елементами вуглецем і воднем. Вони не містять атомів кисню і азоту, така присутність характерна для багатьох видів барвників. Хромофор не містить жодної ароматичної одиниці, замість цього він є поліізопреноїдом. Забарвлення легко досягається кон'югацією лінійно розташованих подвійних зв'язків C=C. В природних ресурсах знайдено та охарактеризовано понад 700 різних типів каротиноїдів [3, 4]. Бета-каротин міститься в різних рослинних джерелах і відіграє роль провітаміну А та антиоксиданту. Завдяки цьому існує певна чутливість до окислення, що обмежує використання для харчової промисловості. Однак, це не впливає на широке використання барвників з моркви в технологіях виробництва кондитерських виробів, каротини мають велике значення. Як харчові барвники каротини зареєстровано під номером E160a. ІЧ-спектр чистого бета-каротину, представлений на рисунку 3.7.

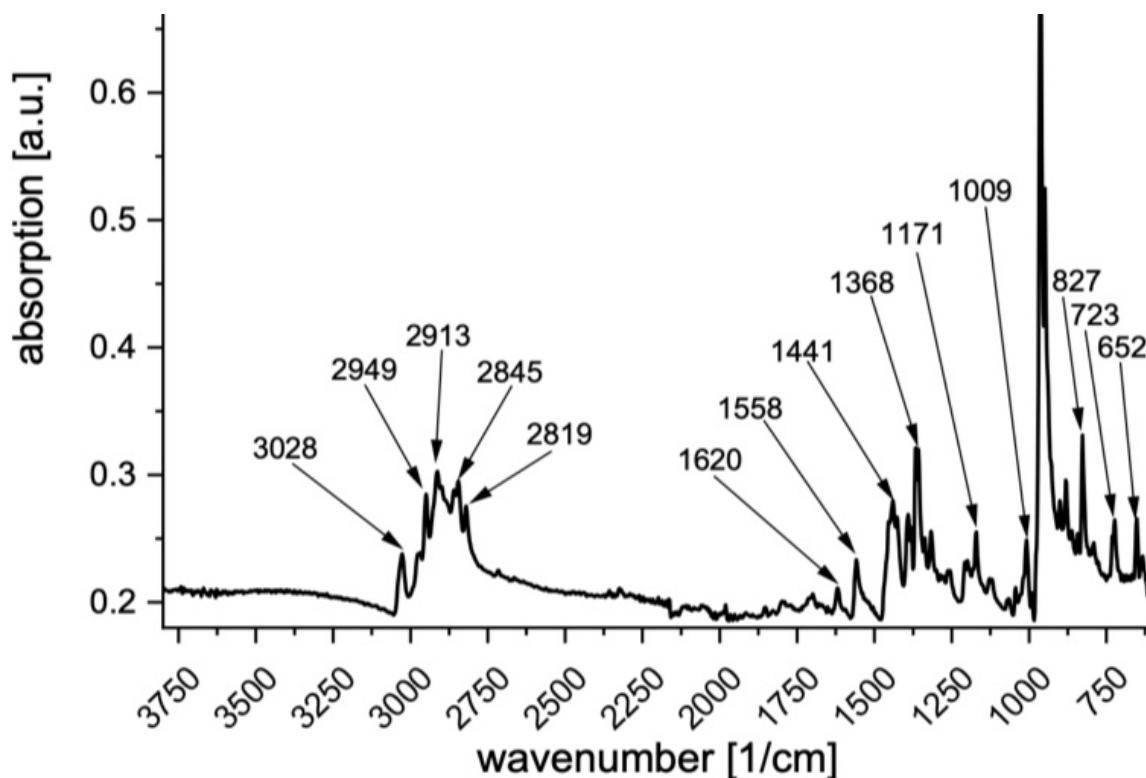


Рисунок 3.7 – ІЧ-спектр бета-каротину

Аналіз спектру показує, що пік при 3028 см^{-1} можна віднести до валентних коливань С-Н атомів водню, розміщених у подвійних зв'язках С=C. Піки в діапазоні від 2949 см^{-1} до 2819 см^{-1} відповідають валентним коливанням С-Н аліфатичних одиниць, якими є метильна група -CH₃ і одиниця -CH₂- в кільцевих системах [5]. Пік при 1368 см^{-1} відносять до симетричної деформації вузла С-Н. Найбільший пік при 964 см^{-1} можна віднести до коливань деформації поза площиною сполученої алкенової одиниці -CH=CH-. Пік при 723 см^{-1} пов'язаний з хитною вібрацією одиниці -CH₂-. З огляду на хімічну структуру бета-каротину очевидно, що можливі різні типи ізомерів залежно від розташування цис-, транс- у подвійних зв'язках С=C. Залежно від такого структурного розташування подвійних зв'язків С=C ІЧ-спектри будуть різні.

Куркумін є компонентом барвника, отриманим із кореня рослини куркуми (*Curcuma longa*). В світі відома назва Natural Yellow 3 (індекс кольору CI 75300) і як харчовий барвник з номером E100 [15, 23]. В хімічній структурі куркуміну, (диферулоілметан), C₂₁H₂₀O₆ можна виділити два ізомери, пов'язані з таутомером кетоенолу.

Екстракт куркуми широко використовують в харчовій промисловості, що пов'язано з високою насиченістю натуральних барвників з куркуми та широкою колірною гаммою відтінків. Куркума є одним із найпоширеніших натуральних барвників, який використовують для кондитерських виробів. Вона має яскраво-жовтий колір завдяки вмісту куркуміну – природного пігменту. Куркума не тільки надає привабливого кольору, але й має корисні властивості завдяки антиоксидантам і протизапальним сполукам.

Куркума є повністю натуральним барвником, має антиоксидантну та протизапальну дію, куркумін може зміцнювати імунітет.

Куркума стабільна до термічної обробки, підходить для випічки та гарячих виробів. Куркума широко доступна і відносно недорога. Однак, характерні смак і аромат можуть домінувати в делікатних солодощах, якщо куркуму

використовувати у великій кількості. Також куркумін чутливий до дії світла, тому кондитерські вироби можуть змінювати колір під час зберігання.

Незважаючи на деякі особливості, куркуму тривалий час застосовують для створення натуральних жовтих відтінків у кондитерських виробах, надаючи їм яскравості та природного вигляду.

ІЧ-спектр куркуміну зображено на рисунку 3.8.

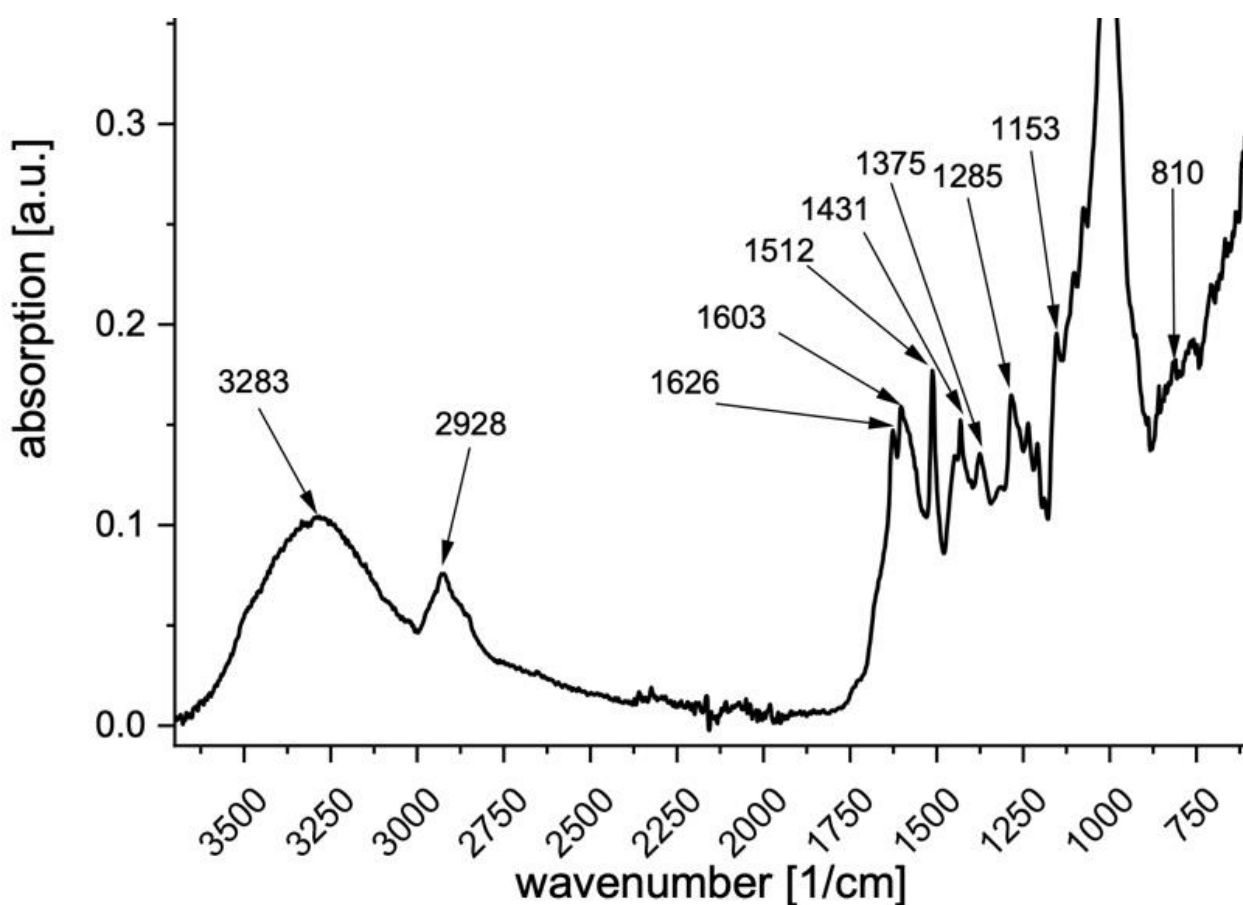


Рисунок 3.8 – ІЧ-спектр куркуміну

Аналіз ІЧ-спектру куркуміну показує наявність широкої смуги з максимумом при 3383 cm^{-1} пов'язаної з валентними коливаннями О-Н, типовими для гідроксигруп -ОН. Примітною є поява єдиного піку при 2928 cm^{-1} . Пік у цьому спектральному діапазоні більш вірогідний для валентного коливання зв'язку О-Н. Цей пік можна пояснити валентними коливаннями О-Н від центральної

гідроксигрупи енольного типу. Подібно до карбонової кислоти, завдяки сусідству з кетогрупою можна оцінити певну кислотну властивість одиниці -ОН. Слабкий сигнал при 2928 см^{-1} пов'язаний з валентними коливаннями С-Н від атомів водню, зв'язаних з ароматичною кільцевою системою, або з одиницями сполучених подвійних зв'язків С=C. Піки від 2300 см^{-1} до 2000 см^{-1} пов'язані з різними валентними коливаннями С-Н від аліфатичних одиниць, якими у випадку куркуміну є метильна група в метокси-ланці -O-CH₃ [5, 14]. Піки при 1626 см^{-1} і 1512 см^{-1} пов'язані з валентними коливаннями С=О. Пік при 1603 см^{-1} відповідає симетричному валентному коливанню С=C ароматичної кільцевої системи. Піки при 1285 см^{-1} і 1153 см^{-1} пов'язані з різними валентними коливаннями С-О.

Таким чином ІЧ-спектроскопія натуральних барвників рослинного походження дозволяє проаналізувати структурні хімічні характеристики основних фарбувальних компонентів. Дослідження показали, що для натуральних барвників рослинного походження, спостерігається наявність домішок (пектинових речовин), які характерні для рослин. ІЧ-спектри барвників натуральних барвників різної чистоти є корисним інструментом для ідентифікації компонентів кондитерських виробів.

3.3 Дослідження хімічних властивостей натуральних барвників

Хімічні властивості натуральних барвників визначають їхню поведінку в харчових продуктах. Вони залежать від структури пігментів, а також від зовнішніх факторів (температура, світло та рН). Правильний підбір, контроль умов зберігання та використання забезпечують їх ефективність в технологіях виробництва кондитерських виробів [4, 6].

З хімічної точки зору, натуральні барвники – це сполуки природного походження, які здатні надавати кольору харчовим продуктам. Їх хімічні властивості зумовлені структурою основних пігментів, які входять до їх складу (антоціани, беталаїни, каротиноїди, хлорофіли тощо). Ці властивості впливають

на їх стабільність, розчинність, реактивність та здатність до зміни кольору під дією зовнішніх факторів. Класи хімічних сполук натуральних барвників та їхні властивості наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Класи хімічних сполук натуральних барвників та їхні властивості

Хімічні сполуки	Походження	Властивості
Антоціани	Ягоди, фрукти, квіти	Залежність кольору від рН: кисле середовище (рН < 3) червоний колір, нейтральне (рН від 4 до 7) пурпуровий, лужне (рН > 8) синій або зелений. Розчинні у воді, чутливі до дії світла та окислення.
Каротиноїди	Морква, томати, куркума, паприка	Стійкі до рН, але чутливі до високих температур і світла. Нерозчинні у воді, добре розчиняються в жирах і спиртах. Виявляють антиоксидантну активність.
Беталаїни	Основний пігмент буряка (бетанін)	Розчинні у воді, чутливі до температури, світла та рН (втрачають колір у лужному середовищі). Мають антиоксидантні властивості
Хлорофіли	Листові овочі (шпинат, кріп)	Легко руйнуються під дією кислот і температури, утворюючи феофітини (коричневий відтінок). Нерозчинні у воді, розчиняються в органічних розчинниках (спирти, олії).
Куркумін	Жовтий пігмент куркуми	Стійкі до високих температур, але чутливі до дії світла й окислення. Нерозчинний у воді, розчиняється в жирах і спиртах.

Крім цього, натуральні барвники розділяють на водорозчинні (антоціани, беталаїни) та жиророзчинні (каротиноїди, хлорофіли). Водорозчинні барвники краще підходять для кремів, глазурей і желе, тоді як жиророзчинні – для масляних кремів і шоколаду. За даними таблиці 3.2 стабільність натуральних барвників залежить від дії зовнішніх факторів. Каротиноїди і куркумін відносно стійкі. Антоціани, беталаїни і хлорофіли втрачають інтенсивність кольору при нагріванні. Ультрафіолетове та інтенсивне освітлення сприяють руйнуванню більшості барвників. Кольорова стійкість натуральних барвників також залежить від рН середовища. Антоціани змінюють колір від червоного до синього залежно від кислотності. Беталаїни стабільні в кислому середовищі, але руйнуються в лужному. Більшість натуральних барвників чутливі до окислення, яке призводить до втрати кольору.

При застосуванні натуральних барвників в технологіях виробництва кондитерських виробів, необхідно враховувати їх хімічну взаємодію із білками, жирами та іншими компонентами харчової матриці [5, 13, 25]. Наприклад, антоціани можуть формувати комплекси з металами, що впливає на їхній колір. Куркумін може зв'язуватися з білками, що посилює його стабільність. Деякі натуральні барвники, такі як антоціани, каротиноїди та куркумін, проявляють антиоксидантну дію, що сприяє продовженню терміну зберігання продукту. Хімічні властивості натуральних барвників наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад натуральних барвників

Походження	Речовини	Мікроелементи	Макроелементи
1	2	3	4
Буряк	Вода, вуглеводи (сахароза), органічні кислоти (яблучна, лимонна), азотисті сполуки	Калій, магній, залізо, мідь	Кальцій, фосфор, натрій

Кінець табл. 3.3

1	2	3	4
Вишня	Органічні кислоти (лимонна, яблучна), цукри (глюкоза, фруктоза); фенольні сполуки	Калій, кальцій, магній, залізо	Натрій, фосфор, сірка
Черешня	Органічні кислоти (яблучна, винна), цукри, вітаміни (С, РР)	Калій, фосфор, магній, залізо	Кальцій, натрій, фосфор
Куркума	Ефірні олії, поліфеноли, крохмаль	Залізо, марганець, калій	Кальцій, натрій, фосфор
Морква	Клітковина, полісахариди, вітаміни (А, К, Е), фенольні сполуки	Калій, кальцій, залізо, магній	Фосфор, натрій, хлор
Гранатовий сік	Органічні кислоти (лимонна, винна), поліфеноли, вуглеводи	Калій, магній, фосфор, залізо	Кальцій, натрій, сірка

Аналіз даних таблиці 3.3 показує, що натуральні барвники представлені сполуками з високою біологічною активністю, такими як фенольні сполуки, органічні кислоти, полісахариди та ефірні олії. Їх хімічна структура визначає спектр кольорів, стабільність та можливість застосування в різних середовищах.

Присутність мікроелементів, таких як залізо, калій, магній, сприяє збагаченню барвників додатковими функціональними властивостями, наприклад, антиоксидантною активністю. Макроелементи (кальцій, фосфор) виконують структурну функцію та можуть впливати на взаємодію барвника з субстратом. Більшість натуральних барвників мають антиоксидантну, протизапальну та антибактеріальну дію завдяки наявності фенольних сполук та органічних кислот. Це сприяє їх ефективному застосуванню у харчовій промисловості. Крім того, натуральні барвники є екологічно безпечними, не утворюють токсичних побічних

продуктів при виробництві чи утилізації, що є перевагою порівняно зі синтетичними аналогами [11, 14].

Як барвники для кондитерських виробів, ці речовини застосовують у низьких концентраціях. Наприклад, для забарвлення 1 кг харчового продукту достатньо від 0,5 до 5 мл концентрованого соку (буряк, гранатовий сік) або від 0,1 до 0,5 г порошку (куркума). При цьому концентрація та спосіб внесення залежать від цільового продукту та необхідного рівня насиченості кольору. Оптимальне дозування дозволяє зберегти натуральний колір кондитерських виробів без впливу на смакові характеристики.

Завдяки їх природному походженню, натуральні барвники мають широкий спектр використання в технологіях виробництва кондитерських виробів (забарвлення напоїв, десертів), зокрема для фарбування печива, кремів, глазурей, желейних начинок, бісквітів, цукерок та декоративних елементів, надаючи їм не лише привабливий вигляд, але й додаткову функціональну цінність завдяки вмісту антиоксидантів та біоактивних сполук. Інноваційні підходи, такі як мікроінкапсуляція, можуть підвищити стабільність натуральних барвників та розширити їх використання.

Натуральні барвники представляють значний інтерес з точки зору хімічної інженерії завдяки їх безпечності, екологічності та багатofункціональності. Подальші дослідження стабільності та можливостей модифікації їхніх властивостей дозволять розширити спектр використання та інтегрувати їх у сучасні технології з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

3.4 Дослідження впливу рН на властивості натуральних барвників

Харчові барвники, отримані з природних джерел, мають значну залежність своїх властивостей, зокрема кольору та стабільності, від кислотності середовища рН. Цей вплив пов'язаний із хімічною структурою основних пігментів.

Основним пігментом куркуми є куркумін (жовтий колір). В кислому середовищі ($\text{pH} < 7$) куркумін залишається жовтим, зберігаючи високу стабільність. В нейтральному середовищі (pH близько 7) барвник зберігає жовтий колір, але з невеликою втратою інтенсивності через початкові процеси деградації. В лужному середовищі ($\text{pH} > 7$), куркумін набуває помаранчевого або червонуватого відтінку. У сильно-лужному середовищі можливе його руйнування через окислювальні процеси. Таким чином, куркума підходить для кондитерських виробів із широким діапазоном pH , але краще зберігає колір у нейтральному або кислому середовищі.

Основним пігментом моркви (каротиноїдів) є бета-каротин (помаранчевий колір). Каротиноїди мають високу стабільність в широкому діапазоні pH від 2 до 10. Незначні зміни кольору можуть виникати в сильно лужному середовищі через окислення пігменту. Барвник із моркви стійкий до впливу pH , що робить його універсальним для використання у різних харчових продуктах.

Основний пігмент буряка (беталаїни) – бетанін (червоний колір). В кислому середовищі ($\text{pH} < 4$) барвник має інтенсивний червоний колір і виявляє максимальну стабільність. В нейтральному середовищі pH від 4 до 7 колір поступово змінюється на рожевий або світло-фіолетовий. В лужному середовищі ($\text{pH} > 7$) бетанін швидко деградує, втрачаючи колір або набуваючи коричневого відтінку. Барвник із буряка найкраще підходить для продуктів у кислому середовищі фруктові желе, напої, глазури.

Основні пігменти гранатового соку – антоціани (червоний, пурпуровий, синій залежно від pH). В кислому середовищі ($\text{pH} < 3$) антоціани мають насичений червоний колір. В нейтральному середовищі pH від 4 до 6 колір стає пурпуровим або світло-фіолетовим. В лужному середовищі ($\text{pH} > 7$) антоціани змінюють колір на синій або зелений; при подальшому підвищенні pH можуть деградувати. Гранатовий сік найкраще використовувати у продуктах з низьким pH фруктові напої, кислі десерти.

Рівень рН натуральних барвників суттєво впливає на їхній колір, стабільність і функціональність у різних видах кондитерських виробів. Оскільки кондитерські вироби мають широкий діапазон кислотності, від кислих фруктових желе до нейтральних кремів і лужних бісквітів, правильний вибір барвника залежить від його стійкості в цих умовах.

Дослідження впливу рН на властивості натуральних барвників наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вплив рН на властивості натуральних барвників

Джерело	Основний пігмент	Кисле середовище (рН < 4)	Нейтральне середовище (рН від 4 до 7)	Лужне середовище (рН > 7)
Куркума	Куркумін	Жовтий, стабільний	Жовтий, незначна втрата інтенсивності	Помаранчевий або червонуватий; можливе окислення
Морква	Бета-каротин	Стабільний, насичено помаранчевий	Стабільний, насичено помаранчевий	Стабільний, насичено помаранчевий
Буряк	Бетанін	Яскраво-червоний, максимальна стабільність	Рожевий або світло-фіолетовий	Нестабільний; швидка деградація до коричневого
Гранатовий сік	Антоціани	Червоний, інтенсивний	Пурпуровий або світло-фіолетовий	Синій або зелений, з часом можливе руйнування

За даними таблиці 3.4 куркума найкраще зберігає свій колір у кислому та нейтральному середовищах, проте може змінювати відтінок у лужному. Барвники з моркви мають високу стабільність кольору незалежно від рН, що робить їх

універсальними барвниками. Барвники з буряка ефективні для кислого середовища, але нестабільні у лужному через деградацію бетаніну. Гранатовий сік найкраще працює в кислому середовищі, а в лужному змінює колір на синій або зелений, що обмежує його застосування в технологіях виробництва кондитерських виробів.

За допомогою рН-метра РН-200 визначено рН розчинів натуральних барвників з куркуми, моркви, буряка, гранатового соку. Результати досліджень наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення рН розчинів натуральних барвників

Натуральний барвник	Основний пігмент	Діапазон рН, у якому барвник стабільний	Оптимальне значення рН для яскравості кольору
Куркума	Куркумін	Від 3 до 8	5
Морква	Бета-каротин	Від 2 до 10	6,5
Буряк	Бетанін	Від 3 до 6	4,5
Гранатовий сік	Антоціани	Від 2 до 7	3,5

Результати дослідження свідчать про те, що нейтральне та слабокисле середовище найуніверсальніші умови для більшості барвників. Кисле середовище ($\text{pH} < 4$) оптимально для буряка та гранатового соку, які мають яскраві кольори. Лужне середовище ($\text{pH} > 7$) рекомендовано використовувати для стійких барвників, такі як морква чи куркума, які не змінюють структуру, залишаються стабільними при високому рН.

Правильний вибір барвника враховує не лише рН кондитерських виробів, але й бажаний колір, термообробку та умови зберігання [14, 26].

3.5 Спектральний аналіз вмісту флавоноїдів в розчинах натуральних барвників

Флавоноїди це природні біоактивні сполуки, які належать до класу поліфенолів. Їх наявність у натуральних барвниках забезпечує не лише забарвлення, але й позитивно впливає на якість і функціональні властивості харчових продуктів, зокрема кондитерських виробів [2, 5, 14].

Визначення вмісту флавоноїдів в розчинах натуральних барвників проводили за допомогою спектрофотометру ULAB 102UV SPECTROPHOTOMETER. Калібрувальний графік дозволяє точно визначити кількість флавоноїдів у зразку та оцінити якість натуральних барвників.

Для побудови калібрувального графіку визначали оптичну густину OD рутину. Оптична густина рутину OD, наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Оптична густина рутину OD

Концентрація рутину С, мкг/мл	Оптична густина рутину, OD
10	0,150
20	0,290
50	0,750
100	1,480
200	2,900

Залежність оптичної густини OD від концентрації рутину С, представлена на рисунку 3.9.

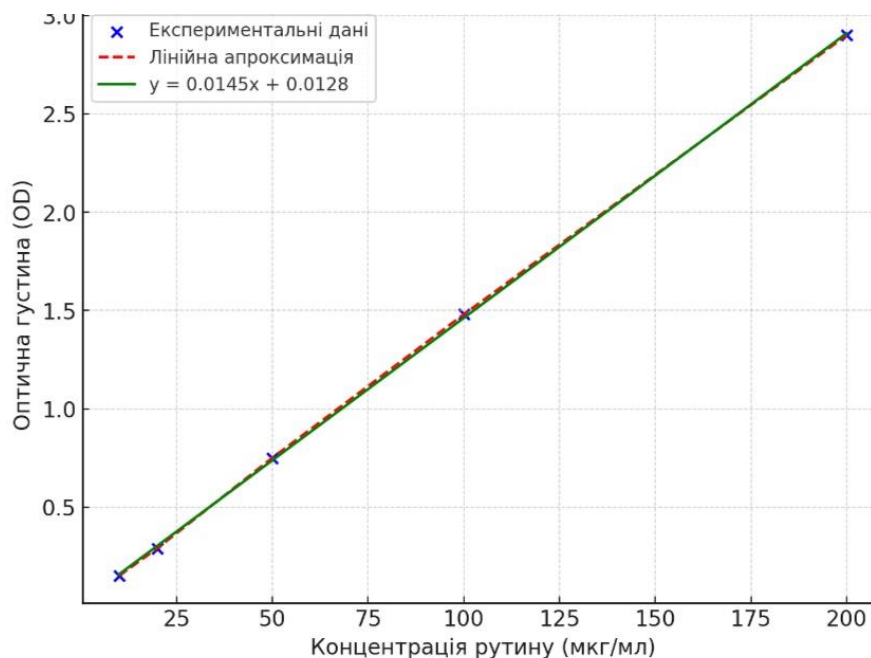


Рисунок 3.9 – Калібрувальний графік рутину

Одержане рівняння калібрувального графіка для рутину $y=0,0145x+0,0128$ показує лінійну залежність, придатну для кількісного аналізу флавоноїдів у зразках барвників.

Для спектрального аналізу розчинів барвників буряка, куркуми, моркви та гранатового соку використовують спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити оптичну густина (OD) при різних довжинах хвиль. Це значення відображає інтенсивність поглинання світла, що пропорційна концентрації пігментів у розчині. В таблиці 3.7 наведено значення оптичної густини барвників OD.

Таблиця 3.7 – Оптична густина барвників OD

Барвник	Довжина хвилі, нм	Оптична густина OD	Концентрація, (розведення)
Буряк	535	0,85	1:10
Куркума	425	1,20	1:20
Морква	460	0,60	1:10
Гранатовий сік	510	1,00	1:20

Аналіз отриманих даних свідчить про концентрацію пігментів у зразках. Для порівняння барвників результати можна нормалізувати за коефіцієнтом розведення. Барвники з високими значеннями OD мають більшу інтенсивність забарвлення та можуть застосовуватися в нижчих концентраціях.

Вміст флавоноїдів у барвниках оцінюють за інтенсивністю кольору. Флавоноїди, як пігменти, відповідають за відтінки жовтого, червоного, пурпурового і синього кольорів. Високий вміст флавоноїдів забезпечує насичений і стабільний колір. Низький вміст може свідчити про слабшу інтенсивність забарвлення. Крім того, важливою характеристикою флавоноїдів є антиоксидантна активність.

Залежність оптичної густини OD від концентрації флавоноїдів C , мкг/мл для натуральних барвників буряка, куркуми, моркви та гранатового соку представлено на рисунку 3.10.

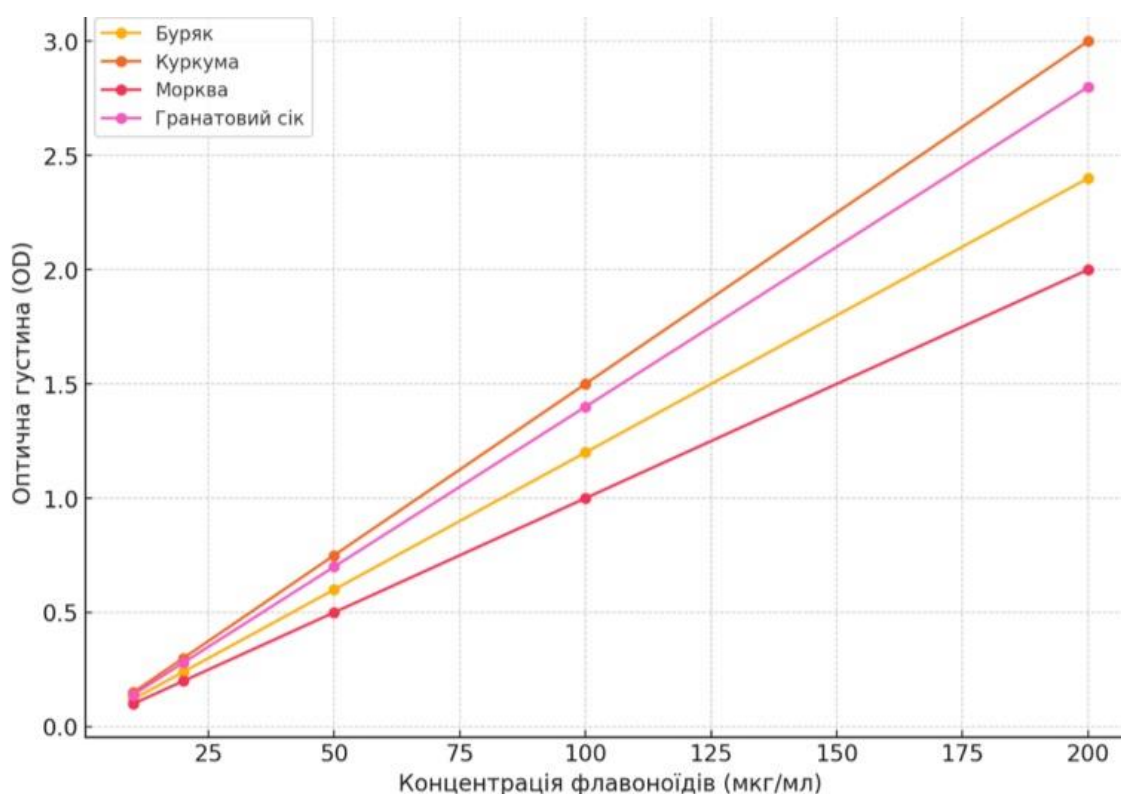


Рисунок 3.10 – Залежність оптичної густини OD від концентрації флавоноїдів С, мкг/мл натуральних барвників

Одержані залежності мають лінійний характер, що свідчить про пропорційність між концентрацією флавоноїдів і величиною оптичної густини, важливою для аналізу вмісту флавоноїдів у зразках.

Дослідження показали, що морква містить невелику кількість флавоноїдів, для більше детального аналізу необхідне застосування чутливіших методів. Оскільки основними пігментами буряка є беталаїни, то вміст флавоноїдів буде низьким. Куркума містить деривати куркуміну, які легко реагують із FeCl₃. Гранатовий сік містить найбільше антоціанів.

Оскільки флавоноїди є сильними антиоксидантами, що допомагають захищати продукти від окислення, їх доцільно використовувати в рецептурах кондитерських виробів для збільшення терміну зберігання. Барвники з високим вмістом флавоноїдів запобігають псуванню жирів і зменшують окислювальні процеси в кондитерських виробках.

Флавоноїди впливають на стійкість кольору барвників до змін рН, температури, світла та окислювачів. Наприклад, антоціани (гранатовий сік) змінюють колір залежно від кислотності середовища. Відповідно вміст флавоноїдів впливає на функціональні властивості барвників. Вміст флавоноїдів визначає додаткові корисні властивості барвників, наприклад протизапальні, кардіозахисні, імуномодулюючі.

Барвники з високим вмістом флавоноїдів ефективні у технологіях виробництва кондитерських виробів. Висока концентрація флавоноїдів дозволяє використовувати менші дози барвника для досягнення бажаного кольору, що знижує витрати у виробництві.

Дослідження вмісту флавоноїдів в барвниках має важливе значення для технологій виробництва кондитерських виробів. Зокрема, для розробки рецептур, натуральні барвники з високим вмістом флавоноїдів ефективні для кондитерських виробів із тривалим терміном зберігання. Для маркування, показники флавоноїдів

можуть використовувати для демонстрації користі натуральних барвників у складі продуктів. Для експериментальних досліджень аналіз вмісту флавоноїдів важливий для стандартизації барвників і забезпечення стабільної якості кінцевого продукту.

Таким чином, вміст флавоноїдів є важливим показником якості, ефективності та функціональності натуральних барвників для використання в технологіях кондитерських виробів.

ВИСНОВКИ

Широке застосування натуральні барвників в технологіях виробництва кондитерських виробів зумовлено їх фізико-хімічними та функціональними властивостями, а також їх екологічній безпеці. Дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників дозволяє визначити їх придатність до застосування в технологіях виробництва кондитерських виробів та оптимізувати рецептури кондитерських виробів різного асортименту.

В кваліфікаційній роботі досліджено фізико-хімічні властивості натуральних барвників з моркви, куркуми, буряка, гранатового соку (колір, стійкість до різних умов середовища, вміст активних сполук), що впливають на їх застосування в технологіях виробництва кондитерських виробів. Проведене комплексне дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників (моркви, буряка, куркуми, гранатового соку), дозволяє надати оцінку їх доцільності для застосування в технологіях виробництва кондитерських виробів.

ІЧ-спектроскопія натуральних барвників рослинного походження дозволяє проаналізувати структурні хімічні характеристики основних фарбувальних компонентів. Дослідження показали, що для натуральних барвників рослинного походження, спостерігається наявність домішок (пектинових речовин), які характерні для рослин. ІЧ-спектри барвників натуральних барвників різної чистоти є корисним інструментом для ідентифікації компонентів кондитерських виробів.

Результати дослідження свідчать про те, що нейтральне та слабокисле середовище найуніверсальніші умови для більшості барвників. Кисле середовище ($\text{pH} < 4$) оптимально для буряка та гранатового соку, які мають яскраві кольори. Лужне середовище ($\text{pH} > 7$) рекомендовано використовувати для стійких барвників, такі як морква чи куркума, які не змінюють структуру, залишаються стабільними при високому рН.

Дослідження показали, що морква містить невелику кількість флавоноїдів, для більше детального аналізу необхідне застосування чутливіших методів. Оскільки основними пігментами буряка є беталаїни, то вміст флавоноїдів буде низьким. Куркума містить деривати куркуміну, які легко реагують із $FeCl_3$. Гранатовий сік містить найбільше антоціанів.

Встановлено, що природні пігменти цих барвників з буряка, морки, куркуми, гранатового соку мають високу чутливість до умов середовища (рівень рН, температура, освітлення), що впливає на їх колір та стабільність.

Дослідження спектрофотометричних характеристик підтвердило наявність активних біологічних сполук, таких як каротиноїди, антоціани, беталіни, куркуміноїди, які забезпечують яскраве забарвлення барвників і сприяють їх антиоксидантній активності.

Експериментально визначено оптимальні умови застосування натуральних барвників у кондитерських виробках. Куркума та морква показали високу стійкість у кислому середовищі, тоді як гранатовий сік і буряк виявили себе найкраще в нейтральному та слабнокислому середовищах.

Таким чином, натуральні барвники є безпечними, екологічно чистими і можуть використовуватися як заміна синтетичних барвників, забезпечуючи при цьому додаткові функціональні переваги (антиоксидантні та оздоровчі властивості) в технологіях виробництва кондитерських виробів.

Отримані результати досліджень кваліфікаційної роботи мають практичне значення, можуть слугувати основою для розробки нових видів кондитерських виробів з використанням натуральних барвників, що відповідають сучасним тенденціям здорового харчування, принципам зеленої хімії та сталого розвитку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Кучерук З. І. Технологія кондитерських виробів: навчальний посібник для самостійного вивчення курсу / З. І. Кучерук, Н. В. Шматченко. – Харків : ХДУХТ, 2020 – 179 с.
- 2 Гайдук О. В. Сучасні технології кондитерського виробництва: підручник. / О. В. Гайдук, Т. М. Герлянд, І. А. Дрозіч, Н. В. Кулалаєва, Г. М. Романова – К.: ПІТО НАПН України, 2020. – 440 с.
- 3 Самохвалова О. В. Інноваційні технології хлібобулочних і кондитерських виробів: Монографія / О. В. Самохвалова, Г. М. Лисюк, А. М. Чуйко та ін. Харків: ТО Ексклюзив, – 2015. – 463 с.
- 4 Гуменюк О. Л. Харчові добавки: тексти лекцій для студентів спеціальності 181 "Харчові технології" / О. Л. Гуменюк. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 177 с.
- 5 Ягодинець П. І. Хімія барвників : Навчальний посібник / П. І. Ягодинець, О. В. Скрипська, Ю. М. Андрійчук. – Чернівці, 2019. – 92 с.
- 6 Мороз І. А. Харчова хімія : Навчальний посібник / І. А. Мороз, О. І. Гулай, В. Я. Шемет. – Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. – 236 с.
- 7 Commission Implementing Regulation (EU) No 872/2012 of 1 Oct. 2012 adopting the list of flavoring substances provided for by Regulation (EC) No 2232/96 of the European Parliament and of the Council, introducing it 251 in Annex I to Regulation (EC) No 1334/2008 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EC) No 1565/2000 and Commission Decision 1999/217/EC // Official J. Eur. Union, 2012. – L. 267. – 161 p.
- 8 ДСТУ 3845-99 Барвники натуральні харчові. Технічні умови.
- 9 Кваліфікаційна робота магістра : методичні рекомендації щодо її підготовки та виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: О. А. Параска, Т. В. Іванішена. Хмельницький: ХНУ, 2024. – 44 с.

10 Текстові документи. Загальні вимоги. СОУ 207.01:2017 / Ю. М. Бойко, Г. В. Красильникова, Л. І. Першина, Т. Ф. Косянчук. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 45 с.

11 Клещук, О. О. Використання природніх барвників у харчовій промисловості: сучасний стан і перспективи / О. О. Клещук, В. В. Шутюк // Інноваційний розвиток харчової індустрії : збірник наукових праць за матеріалами XI Міжнародної науково-практичної конференції, 21 листопада 2024 р. – Інститут продовольчих ресурсів НААН, 2024. – С. 52–53.

12 Amchova P., Kotolova H., Ruda-Kucerova J. Health safety issues of synthetic food colorants // Regulatory toxicology and pharmacology: RTP. 2015. – p. 914-922.

13 Golka K., Kopps S., Myslak K. Carcinogenicity of azo colorants: influence of solubility and bioavailability // Toxicology letters. 2004. – p. 203-210.

14 Воробйова В. І. Технічний аналіз харчових добавок та косметичних продуктів: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Хімічні технології косметичних засобів та харчових добавок» / В. І. Воробйова, О. Е. Чигиринець, Т. М. Пилипенко, Л. А. Хрокало, В. Г. Єфімова. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 345 с.

15 Shahid M., Shahid L., Mohammad R. Recent advancements in natural dye applications: a review // Journal of Cleaner Production. 2013. – p. 310-331.

16 Lehto S., Buchweitz M., Klimm A., Strabburger R., Bechtold C., Ulberth F. Comparison of food colour regulations in the EU and the US: a review of current provisions // Food Additives & Contaminants: Part A. 2017. – p. 335-355.

17 Ластухін Ю. О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості. Навч. посібник. – Львів: Центр Європи, 2009. – 836 с.

18 Caballero B. Guide to nutritional supplements. – Kidlington, Oxford : Elsevier Ltd., 2009. – 565 p.

19 Рецепт макарунів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cookpad.com/ua/> (дата звернення 4.10.2024 р.).

20 Макаруни вишукані десерти [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://smachno.ua/ua/posts/zvezdnyj-retsept/starrecipe-14359/> (дата звернення 4.10.2024 р.).

21 Французьке печиво макаронс [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://marieclaire.ua/uk/lifestyle/frantsuzsko-malinovy> (дата звернення 4.10.2024 р.).

22 Velisek J. The Chemistry of Food. – Wiley-Blackwell, 2014. – 1124 p.

23 Křížová H. Natural dyes: their past, present, future and sustainability. Czech Republic: Kosmas Publishing. 2015. – p. 59-71.

24 Grazielle N, Meireles M., Genipap A. A new perspective on natural colorants for the food industry // Food and Public Health. – 2018. – p. 21-33.

25 Абовян С. О. Перспективи отримання антоціанових барвників для харчової промисловості // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2021. – с.10-15.

26 Черно Н. К. Основы химии та методы анализа харчової продукції / Н. К. Черно, О. О. Антіпіна, О. В. Малинка, С. І. Вікуль. – Херсон : Олді-Плюс, 2019. – 360 с.