

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОЇ
СПРАВИ

«Допущено до захисту» протокол засідання кафедри
№ від «30» січня 2026 року
Зав. кафедрою ХТГРС
д.т.н, професор О.П. Прісс

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


СВО «Магістр»

за освітньо-професійною програмою «Індустрія здорового харчування» зі
спеціальності 181 «Харчові технології»
(освітній ступень, ОПП, спеціальність)

на тему: «Удосконалення технології ферментації чаю з метою збереження біологічно активних речовин»

23 ХТ Д 6989760.02.26

Виконала: студентка 2 курсу 22 МБХТ групи

		_____	Аліна Джантатова
Керівник:	<u>д.т.н.</u> (науковий ступінь, вчене звання)	 (підпис)	Анастасія ДЕМИДОВА (прізвище та ініціали)
Консультант з ОП:	к.т.н., доцент (науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	Михайло ЗОРЯ (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	д.т.н.	(підпис)	Анастасія ДЕМИДОВА (прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет агротехнологій та екології
Кафедра харчових технологій та готельно-ресторанної справи

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»
Освітня програма Індустрія здорового харчування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ХТГРС
д.т.н., професор О.П. Прісс
(підпис) (ініціали та прізвище)
№ від «24» жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

СТУДЕНТУ ДЖАНТАТОВА АЛІНА

1. Тема роботи: Удосконалення технології ферментації чаю з метою збереження біологічно активних речовин

керівник роботи д.т.н., доц. Демидова Анастасія
Олександрівна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Ректора університету від « 24 » жовтня 2025 р. № 573-С

2. Строк подання студентом роботи « 20 » січня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Перелік питань, які потрібно розробити: сучасний стан та перспективи розвитку технології ферментації чаю; аналіз науково-технічної літератури щодо біохімічних процесів під час ферментації; характеристика чайної сировини та її біологічно активних компонентів; вплив технологічних параметрів (температури, вологості, тривалості) на якість та біологічну цінність готового продукту; розробка принципової технологічної схеми ферментації чаю; опис апаратурно-технологічної схеми процесу; визначення оптимальних режимних параметрів з метою збереження антиоксидантного комплексу; впровадження елементів системи НАССР у процес ферментації; об'єкти, методика та умови проведення досліджень; аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень; розробка рекомендацій щодо удосконалення технології та можливостей впровадження результатів у виробництво; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв (підпис)
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Михайло Зоря, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	21.10.2025	

6. Дата видачі завдання

21.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломної роботи (проекту)	Термін виконання етапів роботи чи проекту (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Вступ	вересень	
Розділ 1. Аналітичний огляд науково-технічної літератури за обраною темою	вересень	
Розділ 2. Об'єкти, методика та умови проведення досліджень	жовтень	
Розділ 3. Результати досліджень та їх узагальнення	жовтень	
Розділ 4. Технологічна частина	листопад	
Розділ 5. SWOT-аналіз	листопад	
Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	грудень	
Висновки	грудень	
Список використаної літератури	грудень	

Студентка

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Аліна ДЖАНТАТОВА

Керівник роботи

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Анастасія ДЕМИДОВА

АНОТАЦІЯ

Джантатова А. Удосконалення технології ферментації чаю з метою збереження біологічно активних речовин – Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 181 «Харчові технології». Кафедра харчових технологій та готельно-ресторанної справи. – Запоріжжя, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2026 р.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та удосконаленню технологічного процесу ферментації чаю з урахуванням сучасної концепції індустрії здорового харчування. У роботі проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури щодо біохімічних процесів окиснення поліфенольних сполук, формування теафлавінів і теарубігінів та їх впливу на органолептичні та функціональні властивості чаю.

Розроблено принципову та апаратурно-технологічну схеми ферментації, визначено оптимальні режимні параметри процесу (температура, вологість, тривалість), що забезпечують максимальне збереження біологічно активних речовин, зокрема катехінів, теафлавінів та L-теаніну. Обґрунтовано необхідність прецизійного контролю мікрокліматичних умов для досягнення піку антиоксидантної активності готового продукту.

У роботі запропоновано впровадження елементів системи НАССР з визначенням критичних точок контролю на етапі ферментації з метою гарантування мікробіологічної безпеки продукції. Проведені експериментальні дослідження підтвердили доцільність використання температурного режиму 22–25 °С та відносної вологості 90–95 % для отримання продукту з підвищеною біологічною цінністю.

Отримані результати можуть бути використані у виробництві функціональних напоїв та при розробці інноваційних технологій ферментованої продукції для системи здорового харчування.

Ключові слова: ферментація чаю, поліфеноли, катехіни, теафлавіни, антиоксидантна активність, функціональні напої, технологія, НАССР, індустрія здорового харчування.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	12
1.1 Історія виникнення та класифікація чаю	12
1.2 Біохімічні процеси під час ферментації	15
1.3 Види ферментації чаю та їх вплив на якість продукту	16
1.4 Технологічні особливості ферментації	20
1.5 Аналіз сучасних досліджень і технологій	23
1.6 Концепція індустрії здорового харчування	24
РОЗДІЛ 2 ОБЄКТИ ТА МЕТОДИКИ	
2.1 Принципова технологічна схема ферментації	28
2.2 Апаратурно-технологічна схема процесу	34
2.3 Режимні параметри процесу	36
2.4 Впровадження системи НАССР	37
2.5 Технічні характеристики обладнання	37
2.6 Організація контролю якості	38
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
3.1 Об'єкти, методика та умови проведення досліджень	39
3.1.1 Програма досліджень	40
3.1.2 Схема дослідів	41
3.1.3 Об'єкти та матеріали досліджень	42
3.1.4 Методика проведення досліджень	43
3.1.5 Умови проведення досліджень	44
3.2 Результати досліджень	45
3.3 Узагальнення результатів	48
РОЗДІЛ 4	
SWOT-АНАЛІЗ	52
РОЗДІЛ 5	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА	
В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

У сучасних умовах зростаючого інтересу до здорового способу життя та натуральних продуктів особливу увагу привертають функціональні напої, серед яких чай займає провідне місце. Чай не лише має приємні органолептичні властивості, але й відомий своїми антиоксидантними, тонізуючими та протизапальними властивостями. Вирішальну роль у формуванні якості чаю відіграє процес ферментації, який визначає смакові, ароматичні та біохімічні характеристики кінцевого продукту.

Ферментація чаю — це складний біохімічний процес, що охоплює окислення поліфенолів, утворення ароматичних сполук та зміну складу активних речовин. Удосконалення технологій ферментації дозволяє підвищити якість чаю, розширити його асортимент, зберегти або посилити корисні властивості, а також розробити нові інноваційні продукти з високою доданою вартістю.

Дослідження процесів ферментації є актуальними з точки зору наукового обґрунтування технологічних рішень, оптимізації параметрів виробництва, а також впровадження екологічно безпечних методів обробки сировини. Зважаючи на зростаючий попит на ферментовані продукти, тема дослідження є своєчасною та має велике значення для харчової промисловості.

Результати досліджень можуть бути використані при подальшій науковій роботі, у науково-дослідних проєктах кафедри, а також як наукове обґрунтування для впровадження новітніх технологій ферментації у виробництво функціональних напоїв на основі чайної сировини.

Мета дослідження — наукове обґрунтування та удосконалення технологічного процесу ферментації чаю з метою покращення його органолептичних властивостей, збереження біологічно активних речовин та розробка оптимальних умов проведення ферментації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- Провести аналітичний огляд науково-технічної літератури щодо сучасних методів ферментації чаю.
- Вивчити вплив ферментації на хімічний склад та якісні показники чайної сировини.
- Розробити принципову та апаратурно-технологічну схему ферментації чаю.
- Визначити об'єкти, умови та методика проведення досліджень.
- Провести експериментальні дослідження процесу ферментації за обраними параметрами.
- Проаналізувати результати досліджень і зробити висновки щодо оптимізації технологічного процесу.
- Надати рекомендації щодо впровадження результатів у виробничу практику.

Для досягнення мети дослідження та виконання поставлених завдань застосовувались такі методи:

- Аналіз науково-технічної літератури — систематичне вивчення сучасних джерел, монографій, наукових статей та патентів, що стосуються процесів ферментації чаю, біохімічних перетворень та технологічних аспектів виробництва.
- Хімічний аналіз — визначення вмісту основних біологічно активних речовин у зразках чаю (поліфеноли, кофеїн, таніни) за допомогою спектрофотометрії та хроматографії.
- Органолептичний аналіз — оцінка смакових, ароматичних та зовнішніх властивостей ферментованого чаю експертною комісією за встановленими стандартами.
- Фізико-хімічні методи — вимірювання кислотності (рН), вологості, кольору та інших параметрів сировини та готового продукту.

- Експериментальний метод — проведення серії дослідів із ферментації чаю з варіюванням технологічних параметрів (температура, тривалість, вологість) для визначення оптимальних умов.
- Статистична обробка даних — використання методів математичної статистики для аналізу отриманих результатів, визначення їх достовірності та формулювання висновків.

У ході виконання роботи було досліджено особливості технологічного процесу ферментації чаю, що дозволило отримати нові наукові дані щодо впливу основних параметрів ферментації на якість кінцевого продукту. Вперше проведено систематичний аналіз взаємозв'язку між тривалістю та температурою ферментації і змінами в хімічному складі чайної сировини.

Запропонована принципова технологічна схема з урахуванням нових наукових даних може бути використана при розробці інноваційних продуктів і впровадженні їх у виробництво.

Таким чином, наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до дослідження ферментації чаю, що поєднує експериментальні дослідження з аналізом хімічних і органолептичних показників, та у розробці рекомендацій для вдосконалення технології. У роботі вперше теоретично обґрунтовано комплексний вплив мікрокліматичних параметрів на збереження катехінового профілю чайного листа в умовах керованої ферментації. Доведено, що використання температурного режиму 25°C у поєднанні з вологістю 95% дозволяє досягти синергетичного ефекту в екстракції теафлавінів, що є критично важливим для створення продуктів функціонального призначення.

Практичне значення. Розроблено удосконалену технологічну схему, що включає етап прецизійного моніторингу ферментативного окиснення. Результати досліджень можуть бути впроваджені на підприємствах харчової промисловості при розробці лінійок чаю для дієтичного та оздоровчого харчування.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Історія виникнення та класифікація чаю

Чай — один із найдавніших і найпоширеніших напоїв у світі, історія якого налічує понад три тисячі років. За легендою, чай був відкритий у Китаї близько 2737 року до н.е. імператором Шень Нуном, коли випадково в чайну чашку впали листя чайного куща, що надало воді ароматний смак. З того часу культура споживання чаю поступово поширилася по всій Азії, а згодом і в Європу, ставши важливою частиною національних традицій багатьох країн.

Існує декілька основних видів чаю, які класифікують за ступенем ферментації, способом обробки та сортом сировини. Найпоширеніша класифікація включає:

- **Зелений чай (рис. 1.1)** — необроблені ферментацією листя, що проходять лише процеси пропарювання або обробки паром для зупинки ферментації;



Рис. 1.1. Зелений чай

- **Чорний чай (рис 1.2)** — повністю ферментований, що має інтенсивний смак і темний колір;



Рис. 1.2. Чорний чай

- **Улун (напівферментований чай) (рис. 1.3)** — частково ферментований, поєднує властивості зеленого і чорного чаю;



Рис. 1.3. Улун

- **Білий чай (рис. 1.4)** — мінімально оброблений, ферментація практично відсутня;



Рис. 1.4. Білий чай

- **Жовтий чай (рис. 1.5)** — ферментований із специфічною технологією, що надає напою особливого смаку;



Рис. 1.5. Жовтий чай

- **Пуер (рис. 1.6.)** — ферментований і витриманий чай, що проходить постферментацію, що впливає на його унікальний аромат.



Рис. 1.6. Пуер

Кожен вид чаю має свої технологічні особливості обробки листя, що безпосередньо впливають на кінцеві смакові та ароматичні якості напою. Сучасна наука досліджує не лише традиційні методи виготовлення, а й вплив ферментації на корисні властивості чаю, що відкриває нові можливості для інноваційних розробок у харчовій промисловості.

Розвиток культури чаювання супроводжувався вдосконаленням технологій обробки чайного листя. У Китаї, який вважається батьківщиною чаю, за багато століть сформувалися різні традиції приготування та споживання чаю, що призвело до появи численних регіональних сортів і видів.

З поширенням чаю в інші країни Азії — Японію, Індію, Шрі-Ланку — технології зазнали адаптації з урахуванням місцевих кліматичних та культурних

особливостей. Так, в Японії переважно виробляють зелений чай із мінімальною ферментацією, а в Індії та Шрі-Ланці поширені чорні чаї з повною ферментацією.

Класифікація чаю також залежить від методу ферментації — біохімічного процесу окислення поліфенолів, що відбувається під впливом ферментів листя і повітря. Від рівня ферментації залежать колір настою, смак і аромат напою. Наприклад, зелений чай не ферментується, тому зберігає світло-зелений колір і свіжий трав'янистий смак, а чорний чай повністю ферментований, має темний колір і насичений аромат.

Окрім традиційної класифікації за ступенем ферментації, чай поділяють також за регіоном вирощування, сортом рослини (*Camellia sinensis* var. *sinensis* і *Camellia sinensis* var. *assamica*), а також за способом обробки (ручно зібраний або машинний збір, форма листя: скручений, гранульований тощо).

У сучасній харчовій промисловості значну увагу приділяють не лише традиційним видам чаю, а й новим технологіям, які дозволяють створювати функціональні напої з покращеними корисними властивостями, шляхом контролю ферментації, додавання натуральних інгредієнтів, а також використання біотехнологічних методів.

1.2 Біохімічні процеси, що відбуваються під час ферментації

Ферментація чаю — це складний біохімічний процес, який визначає якість, смакові та ароматичні властивості кінцевого продукту. В основі ферментації лежать окислювальні реакції поліфенольних сполук, які відбуваються під впливом ферментів, що містяться у клітинах чайного листя.

Основними біохімічними реакціями під час ферментації є:

1. Окиснення поліфенолів. Найважливішими речовинами, що піддаються окисненню, є катехіни — поліфенольні сполуки, які надають чаю терпкість і гіркоту. Під впливом ферменту поліфенолоксидази катехіни перетворюються на теафлавіни та теарубігіни — комплекси, що визначають колір і аромат ферментованого чаю. Теафлавіни забезпечують яскравий червоно-

оранжевий колір настою, а теарубігіни відповідають за темний колір і насичений смак.

2. Гідроліз білків. Під час ферментації відбувається розщеплення білкових сполук, що впливає на формування смаку та аромату, а також на зменшення терпкості.

3. Розпад хлорофілу. Ферментація призводить до часткового руйнування зеленого пігменту хлорофілу, що сприяє зміні кольору листя від зеленого до коричневого або чорного.

4. Утворення летких ароматичних сполук. Внаслідок ферментації відбувається синтез і трансформація ефірних масел, альдегідів, спиртів та інших летких сполук, які формують характерний аромат чаю.

5. Зміни вмісту кофеїну. Ферментація може дещо змінювати концентрацію кофеїну, що впливає на тонізуючі властивості напою.

Контроль параметрів ферментації — температури, вологості, часу і доступу кисню — дозволяє регулювати інтенсивність біохімічних процесів і, відповідно, отримувати чай із заданими органолептичними характеристиками.

Загалом ферментація є ключовим етапом у виробництві чорного, улун та інших видів ферментованого чаю, що визначає його унікальні смакові і корисні властивості.

1.3 Види ферментації чаю та їх вплив на якість продукту

Ферментація чаю — це біохімічний процес окиснення поліфенольних сполук, який визначає смакові, ароматичні та колірні характеристики кінцевого продукту. В залежності від ступеня ферментації, технології та умов процесу розрізняють кілька основних видів ферментації, що впливають на якість і тип чаю.

1. Повна ферментація Цей вид ферментації характерний для чорного чаю. Під час повної ферментації поліфеноли майже повністю окиснюються, що призводить до утворення темно-коричневих теафлавінів і теарубігінів. Такий чай

має насичений смак, яскравий колір і багатий аромат. Повна ферментація забезпечує високу міцність напою та тривале зберігання.

2. Напівферментація Цей вид характерний для чаю улун (оолонг). Тут ферментація триває лише частково — від 10% до 70%. Напівферментований чай поєднує властивості зеленого та чорного чаю, має більш складний аромат і м'який, збалансований смак. Ступінь ферментації контролюється шляхом регулювання часу і температури.

3. Відсутність ферментації (зелені чаї) Зелені чаї не проходять ферментацію або ферментація зупиняється дуже швидко (за допомогою термічної обробки, наприклад, пропарювання або обсмажування). У результаті листя зберігає яскраво-зелений колір і високий вміст катехинів — натуральних антиоксидантів. Цей вид чаю має свіжий трав'янистий смак, менш гіркий і терпкий.

4. Постферментація Це специфічний вид ферментації, який відбувається після основного процесу ферментації під впливом мікроорганізмів. Яскравим прикладом є пуер — чай, який дозріває кілька місяців або років, набуваючи унікального смаку і аромату.



Рис. 1.3. Вигляд завареного чаю різного ступеня ферментації (від білого до темного сорту зліва на право)

Види ферментації мають суттєвий вплив на фізико-хімічні, органолептичні та функціональні властивості чаю. Розглянемо основні аспекти цього впливу:

1. Колір настою і листя

- Зелений чай — через відсутність або мінімальну ферментацію листя зберігає свій природний зелений колір, а настій має світло-зелений або жовтуватий відтінок. Це пов'язано з тим, що хлорофіл практично не руйнується.

- Чорний чай — при повній ферментації поліфеноли окиснюються і полімеризуються, утворюючи темні пігменти (теафлавіни і теарубігіни). Тому листя набуває коричневого або темно-коричневого кольору, а настій — темно-червоного або бурштинового відтінку.

- Улун (напівферментований чай) — має проміжний колір: листя і настій можуть варіюватися від світло-зеленого до бурштинового в залежності від ступеня ферментації.

- Пуер (постферментація) — за рахунок тривалої мікробіологічної ферментації настій має темно-коричневий або навіть чорний колір, що свідчить про складні хімічні зміни.

2. Смакові якості

- У зеленому чаї смак більш свіжий, трав'янистий, з легкою терпкістю та гірчинкою, що обумовлено високим вмістом катехінів — натуральних поліфенолів.

- У чорному чаї смак більш насичений, солодкуватий, з вираженою глибокою терпкістю і трохи меншою гіркотою через перетворення катехінів на більш м'які сполуки — теафлавіни і теарубігіни.

- Улун поєднує в собі якості зеленого і чорного чаю — смак більш збалансований, м'який, з фруктовими або квітковими нотами, залежно від ступеня ферментації.

- Пуер має особливий смак, який формується в процесі тривалої постферментації — землянистий, насичений, з характерною м'якістю та глибиною.

3. Аромат

- Відсутність ферментації у зеленому чаї зберігає легкий, свіжий аромат із трав'яними, квітковими або морськими нотками.
- Ферментація сприяє утворенню нових летких ароматичних сполук — ефірів, альдегідів, спиртів, які надають чорному чаю багатий, насичений і складний аромат.
- У улунів аромат залежить від ступеня ферментації і часто має фруктові, квіткові або карамельні відтінки.
- Постферментований пуер відзначається характерним «землистим» або «лісовим» ароматом, який формується завдяки мікробній активності.

4. Корисні властивості

- Зелений чай містить найбільшу кількість антиоксидантів, особливо катехинів, які сприяють захисту організму від вільних радикалів і мають протизапальну дію.
- Чорний чай, хоч і має менше катехинів через ферментацію, містить інші корисні полімерні сполуки, що підтримують здоров'я судин і мають стимулюючий ефект.
- Улун поєднує в собі корисні властивості обох типів, а також містить унікальні речовини, що можуть сприяти метаболізму.
- Пуер завдяки тривалій ферментації набуває унікальних ферментованих сполук, що позитивно впливають на травлення і мають детоксикаційний ефект.

5. Текстура і міцність напою

- Зелений чай зазвичай має легку текстуру і ніжний смак, менш міцний, що робить його популярним для щоденного вживання.
- Чорний чай має більш виражену міцність і терпкість, що підходить для приготування міцних напоїв із додаванням молока або цукру.
- Улун і пуер дають напої з більш складною текстурою — від ніжної до густої, залежно від способу заварювання і тривалості настоювання.

Таким чином, вид ферментації є ключовим фактором, що визначає якість, тип і споживчі властивості чаю. Розуміння впливу різних видів ферментації

дозволяє технологам і виробникам цілеспрямовано формувати асортимент і відповідати очікуванням споживачів.

1.4 Технологічні особливості ферментації у виробництві чаю

Ферментація є ключовим етапом у технології виробництва різних видів чаю, який визначає його якість, смак, аромат та колір. Технологічні особливості ферментації залежать від типу чаю, сорту сировини, а також від обладнання та умов, що застосовуються на виробництві.

Основні етапи ферментації:

1. Підготовка сировини. Перед ферментацією чайне листя проходить процес зав'янення (в'янення), що знижує вологість і робить листя більш м'яким та еластичним, полегшуючи подальшу обробку. В'янення триває від кількох годин до доби, залежно від сорту чаю і кліматичних умов.

2. Розрив клітинної структури. Для активації ферментів листя піддають механічному пошкодженню — скручуванню, розминанню або подрібненню. Це сприяє контакту ферментів із субстратами (поліфенолами), необхідними для ферментації.

3. Безпосередньо ферментація. Реакції окиснення поліфенолів відбуваються у контрольованих умовах вологості (60-80%) і температури (20-30 °C). Тривалість ферментації залежить від типу чаю — від 30 хвилин (для напівферментованих чаїв) до кількох годин (для чорного). На цьому етапі важливо забезпечити рівномірне провітрювання і контроль температури, щоб уникнути перегріву або розвитку патогенних мікроорганізмів.

4. Зупинка ферментації. Для припинення ферментаційних реакцій застосовують термічну обробку — пропарювання або обсмажування (припикання) листя. Це дозволяє зберегти отримані смакові та ароматичні властивості, а також стабілізує продукт для подальшого сушіння.

5. Сушіння. Після ферментації листя висушують для зниження вологості до 3-5%, що забезпечує тривале зберігання і запобігає псуванню. Сушіння також впливає на остаточний аромат і текстуру чаю.

Особливості ферментації для різних видів чаю:

- Зелений чай — ферментація практично відсутня; сировина піддається швидкій тепловій обробці після в'янення для зупинки ферментів.
- Чорний чай — повна ферментація, тривалість якої суворо контролюється для отримання насиченого кольору та смаку.
- Улун (напівферментований чай) — ферментація триває короткий час або припиняється на проміжному етапі, що потребує точного регулювання температури і вологості.
- Постферментація (пуер) — проходить після основного сушіння при зберіганні за спеціальних умов, часто із залученням мікроорганізмів.

Вплив технологічних параметрів на ферментацію:

- Температура: Підвищення температури прискорює ферментацію, але може призвести до втрати аромату і розвитку небажаних смаків.
- Вологість: Оптимальна вологість необхідна для активності ферментів і запобігання висиханню листя.
- Час: Період ферментації повинен бути достатнім для повного або часткового окиснення поліфенолів, але не надмірним, щоб уникнути надмірної гіркоти.
- Провітрювання: Забезпечує доступ кисню, необхідного для окислювальних реакцій.

Таким чином, технологічні особливості ферментації є визначальними для отримання чаю з бажаними якісними характеристиками. Застосування сучасних методів контролю і оптимізації процесу дозволяє підвищити стабільність продукції та розширити асортимент.

Для розуміння змін, що відбуваються в чайному листі під час його обробки, важливо розглянути хімічний склад речовин, які найбільше змінюються в процесі виробництва. Саме ці речовини визначають сортові особливості і якість чаю.

Головна харчова цінність чаю полягає в поліфенолах — органічних сполуках з високою біологічною активністю. Вони відповідають за колір, смак і аромат готового продукту.

До поліфенолів чаю належать катехіни (відомі також як таніни) і галова кислота, які переважають у зеленому і білому чаї. У чорному і улунному чаї формуються інші поліфеноли — теафлавіни, теарубігіни та полімери катехінів.

Залежно від виду чаю, вміст і склад поліфенолів відрізняються. У зеленому, білому чаї і улуні найбільше катехінів. У чорному чаї, окрім катехінів, присутні теафлавіни та теарубігіни — продукти ферментації катехінів. Катехіни в чорному чаї зберігаються у меншій кількості, оскільки частково перетворюються на інші сполуки.

У чаї улун поліфеноли — це переважно катехіни зеленого чаю і невелика кількість теафлавінів та теарубігінів, оскільки ферментація тут часткова.

Поліфенольний склад сирого пуеру схожий на улун, а в повністю ферментованому пуері переважає галова кислота, а поліфеноли зеленого і чорного чаїв відсутні (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Поліфеноли в різних сортах чаю

<i>Сорт чаю</i>	<i>Основні поліфенольні компоненти</i>
Зелений чай	Катехіни
Білий чай	Катехіни
Чорний чай	Катехіни, теафлавіни, теарубігіни
Чай улун	Катехіни, теафлавіни
Сирий чай пуер	Катехіни, мінорні теафлавіни
Повністю ферментований чай пуер	Галова кислота

1.5 Аналіз сучасних досліджень і технологій у галузі ферментації чаю

Ферментація чаю є ключовим етапом, що визначає його органолептичні та біохімічні характеристики. Сучасні дослідження та технології спрямовані на

оптимізацію цього процесу з метою покращення якості продукції та збереження корисних властивостей чаю.

Для всебічного розуміння ферментації чаю, її біохімічних, технологічних та якісних аспектів, було проаналізовано понад 18 джерел, опублікованих упродовж останніх 10–15 років, які охоплюють наукові статті, огляди, інформаційні ресурси та технічні рекомендації.

Дослідження [1], [5], [12] детально розглядають склад поліфенолів у різних типах чаю, зокрема зелений і чорний чай, їхню роль у формуванні смаку, аромату та антиоксидантних властивостей. Біохімічні зміни в катехінах та утворення теафлавінів під час ферментації відіграють ключову роль у формуванні якості чорного чаю ([1], [5]). Робота [6] висвітлює перетворення амінокислот під час виробництва чорного чаю, що також впливає на органолептичні характеристики.

Матеріали [7], [9], [10], [11] описують основні етапи виробництва чаю, особливо технологічні особливості ферментації, зокрема умови (температура, вологість, час) та апаратуру. Ресурс [13] демонструє, як сучасні технології і автоматизація впливають на підвищення якості та стабільності ферментації, а також покращення контролю процесу.

Інформація з [2], [3], [14], [15], [16] допомагає структурувати види чаю залежно від ступеня ферментації: від зеленого (неферментованого) до чорного (повністю ферментованого), з проміжними варіантами, такими як улун і жовтий чай. Ці джерела пояснюють вплив ступеня ферментації на якість і смак продукту.

Статті [13], [17], [18] висвітлюють сучасні інновації у виробництві чаю, включаючи розчинні та консервовані чаї, які піддаються різним видам обробки, включно з ферментацією, що розширює ринок і споживчі можливості.

В огляді відзначено, що хоча існує багато теоретичних і практичних досліджень щодо ферментації, більшість з них обмежуються описом окремих аспектів — біохімії, мікробіології або технології, але не комплексним поєднанням цих напрямів ([7], [10], [13]). Стандартизація процесу ферментації і контроль якості залишаються проблематичними через природну змінність сировини та вплив людського фактору.

Аналіз літератури і інформаційних джерел підтверджує, що ферментація є ключовим процесом, що визначає унікальні властивості чаю. Існуючі технології постійно вдосконалюються, зокрема через застосування автоматизації та сучасних методів контролю, однак потребує подальшої інтеграції біохімічних, мікробіологічних і технологічних знань для забезпечення стабільної якості продукції.

1.6. Концепція індустрії здорового харчування у технології виробництва ферментованих напоїв

Сучасна парадигма розвитку харчових технологій в Україні, що реалізується в межах освітньо-професійної програми «Інноваційні технології здорового харчування», базується на переході від концепції «задоволення енергетичних потреб» до формування раціону, що має виражені оздоровчі та превентивні властивості. В цьому контексті технологія ферментації чаю розглядається як інструмент прецизійного біотехнологічного впливу на сировину з метою отримання функціонального продукту з заданим нутрієнтним профілем. Фізіолого-біохімічне обґрунтування ролі чаю в дієтології. Ключова цінність чайного листа як об'єкта індустрії здорового харчування полягає у високому вмісті поліфенольних сполук, зокрема катехінів, які становлять до 25-30% сухої речовини. Під час ферментації ці речовини піддаються складним ензиматичним перетворенням, що визначає не лише колір та аромат, а й біологічну активність готового напою.

Для наукового обґрунтування розробки продуктів функціонального призначення необхідно систематизувати компоненти чаю за їх впливом на організм людини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Біоактивний профіль ферментованого чаю в системі здорового харчування

Нутрієнтний компонент	Фізіологічний вплив на організм людини	Значення для індустрії здорового харчування
Епігалокатехін-3-галлат (EGCG)	Найпотужніший природний антиоксидант, захист клітин від вільних радикалів	Профілактика онкологічних захворювань та передчасного старіння
Теафлавіни (TF1, TF2, TF3)	Гіпохолестеринемічна дія, зміцнення стінок капілярів	Підтримка серцево-судинної системи, профілактика атеросклерозу
L-теанін (амінокислота)	Природний нейропротектор, стимуляція альфа-хвиль мозку	Покращення когнітивних функцій, антистресовий ефект
Полісахариди чаю	Регулювання рівня глюкози в крові	Можливість використання в раціоні хворих на цукровий діабет

Аналіз даних, наведених у табл. 1.1, дозволяє стверджувати, що кожна група нутрієнтів виконує специфічну функцію в підтриманні гомеостазу людини. Особливу увагу слід приділити групі теафлавінів, оскільки їх концентрація є прямим маркером успішності проведеного технологічного процесу. З медичної точки зору, саме теафлавіни забезпечують антибактеріальний потенціал напою, що важливо для підтримки мікробіому кишківника.

Біохімічна трансформація антиоксидантного комплексу. Важливим аспектом розуміння якості готового продукту є динаміка трансформації поліфенолів.

Деталізація етапів трансформації згідно зі схемою:

1. Етап окиснення катехінів: Під дією ферментів поліфенолоксидази мономерні катехіни перетворюються на хінони. Це початкова фаза, де закладається майбутній оздоровчий потенціал. За умов

підвищених температур (понад 30°C) ферменти інактивуються занадто швидко, що призводить до втрати біологічної цінності.

2. Етап формування теафлавінів: Це центральна ланка нашої схеми. Теафлавіни — це нестабільні проміжні продукти. В індустрії здорового харчування вважається, що максимальний накопичений вміст теафлавінів свідчить про найвищу якість чаю. Оскільки цей етап триває обмежений час, завданням нашого дослідження є пошук режимів (25°C), які б дозволили "розтягнути" цей пік у часі для його надійної фіксації.

3. Етап утворення теарубігінів: При подальшому протіканні реакції теафлавіни конденсуються у теарубігіни. Хоча вони надають напою насиченого кольору, їх надмірна кількість свідчить про глибоку полімеризацію антиоксидантів, що знижує їх біодоступність для організму людини.

Взаємозв'язок технології та нутріціології. Збереження L-теаніну (див. табл. 1.1) є ще одним критичним завданням. Ця амінокислота є термолабільною, тому використання м'яких температурних режимів (20-25°C) дозволяє зберегти її природну структуру. Такий підхід дозволяє позиціонувати продукт як «Stress-relief food», що є актуальним трендом сучасної дієтології.

Крім того, при високій вологості ферментації (90-95%) виникає ризик розвитку мікробіологічного обсіменіння. Оптимізація тривалості процесу (до 4 годин) та прецизійне управління мікрокліматом, що пропонується в даній роботі, гарантує повну безпеку продукту та його відповідність принципам «Clean Label» (чиста етикетка — відсутність штучних добавок).

Висновки до розділу 1. Таким чином, аналітичний огляд літератури та біохімічне обґрунтування процесів доводять, що перехід до прецизійного контролю параметрів ферментації є обов'язковою умовою для отримання чаю, який відповідає концепції здорового харчування. Візуалізація біохімічних перетворень підтверджує, що саме стадія накопичення теафлавінів має бути пріоритетною при розробці нових технологічних регламентів.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1 Об'єкти, методика та умови проведення досліджень

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес ферментації чайного листа, а саме зміна фізико-хімічних показників сировини в залежності від умов обробки – температури, вологості, тривалості ферментації та способу скручування.

Предметом дослідження виступають поліфенольні сполуки (катехіни, теафлавіни, теарубігіни) як ключові біохімічні маркери, що визначають якість та тип чаю залежно від рівня ферментації.

Методика дослідження базується на комплексному аналізі чайної сировини до та після ферментації. Для цього використовуються такі методи:

- спектрофотометричний аналіз вмісту поліфенолів;
- органолептична оцінка за участю дегустаційної комісії;
- хроматографічне визначення катехінів та їхніх похідних;
- мікробіологічний аналіз на наявність домінуючих ферментуючих мікроорганізмів;
- контроль температури та вологості під час ферментації (метод моніторингу в контрольованих камерах або ферментаційних ємностях).

Умови проведення дослідження включають моделювання ферментаційного процесу в лабораторних умовах, з дотриманням параметрів, максимально наближених до промислових: температура – від 15 до 28 °С, вологість – 85–95 %, тривалість – 1–5 годин залежно від типу чаю.

2.2. Програма досліджень

Метою дослідження є вивчення впливу основних параметрів ферментації (тривалість, температура, вологість) на якість чайної сировини, хімічний склад та органолептичні властивості готового чаю.

Для досягнення цієї мети розроблено програму досліджень, яка охоплює такі етапи:

1. Підготовка зразків чайної сировини:
 - відбір свіжого листя;
 - стандартизація розміру листка та ступеня зав'ялювання перед ферментацією.
2. Формування контрольних груп:
 - поділ зразків на експериментальні групи відповідно до різних параметрів ферментації (час: 1, 2, 3, 4, 5 годин; температура: 15, 20, 25 °C; вологість: 85 %, 90 %, 95 %);
 - окрема група – контрольна (без ферментації – умовно зелений чай).
3. Проведення ферментації:
 - підтримання заданих умов у кліматичних камерах або ферментаційних ємностях;
 - спостереження за змінами кольору, запаху, структури листка.
4. Фіксація процесу ферментації (зупинка окиснення):
 - висушування зразків при контрольованих температурах (80–130 °C);
 - доведення залишкової вологості до 5–7 %.
5. Аналіз хімічного складу:
 - спектрофотометричне визначення загального вмісту поліфенолів;
 - визначення вмісту катехінів, теафлавінів, теарубігінів за допомогою ВЕРХ (високоєфективної рідинної хроматографії);
 - визначення вмісту галої кислоти та амінокислот.
6. Органолептична оцінка:
 - дегустація готового чаю за загальноприйнятими методиками;
 - оцінка кольору настою, аромату, смаку, післясмаку, прозорості.
7. Мікробіологічний аналіз:
 - визначення мікрофлори, що бере участь у процесі ферментації (для пуеру – виділення домінуючих грибів).
8. Обробка результатів:
 - статистичний аналіз даних;
 - побудова графіків залежності якості чаю від параметрів ферментації;

- порівняння з контрольними зразками.
- 9. Висновки та рекомендації:
 - формулювання оптимальних параметрів ферментації для отримання чаю з найкращими споживчими характеристиками;
 - рекомендації щодо можливого покращення технології ферментації.

2.3 Схема дослідів

Схема дослідів передбачає дослідження впливу тривалості ферментації та температури середовища на якість чайної сировини. Зразки оброблялися в однакових умовах вологості ($90 \pm 2 \%$), а змінними факторами виступали:

- Час ферментації: 1, 2, 3, 4, 5 годин
- Температура ферментації: 15, 20, 25 °C

Таким чином, було сформовано 15 дослідних варіантів (5×3) (таблиця 2.1) із фіксацією показників після кожного експерименту. Контрольний зразок не піддавався ферментації (зелений чай).

Таблиця 2.1.

Схема проведення дослідження

№ варіанта	Температура, °C	Час ферментації, год	Опис змін
1	15	1	Легка ферментація при низькій температурі
2	15	2	Помірне забарвлення, легкий аромат
3	15	3	Помітна зміна кольору, середня ароматизація
4	15	4	Розвинений аромат, мідний колір
5	15	5	Переферментоване листя, зниження якості
6	20	1	Початкова ферментація, легкий аромат
7	20	2	Оптимальні початкові зміни
8	20	3	Найкращий баланс смаку та аромату
9	20	4	Нагрівання листа, активний процес
10	20	5	Ознаки надмірного окиснення
11	25	1	Швидкий старт процесу

12	25	2	Інтенсивний аромат, зниження свіжості
13	25	3	Активне утворення теафлавінів
14	25	4	Можливий перегрів, втрата аромату
15	25	5	Схильність до гіркоти, темний колір
16	-	0	Без ферментації (зелений чай)

2.4 Об'єкти та матеріали досліджень

Об'єктом дослідження виступає свіже чайне листя сорту *Camellia sinensis*. Сировина відповідала стандартам якості: листя було цілим, без ознак механічного пошкодження, хвороб чи забруднення, однакового ступеня зрілості (1–2 верхні листки та брунька).

Матеріали дослідження:

1. Чайна сировина:
 - Свіже листя *Camellia sinensis*;
 - Контрольні зразки для порівняння (зелений чай без ферментації).
2. Допоміжні матеріали:
 - Дистильована вода (для підготовки зразків);
 - Гостра пара для термічної обробки в процесі ферментації (у деяких варіантах досліду);
 - Етиловий спирт та інші хімічні реактиви для якісного та кількісного аналізу поліфенольних сполук.
3. Лабораторне обладнання:
 - Кліматична камера або ферментаційний бокс для підтримання контрольованих умов (температура, вологість);
 - Висушувач (шафа з регулюванням температури в межах 80–130 °С);
 - Аналітичні ваги;
 - Спектрофотометр для визначення загального вмісту поліфенолів;
 - Хроматограф (за наявності) – для аналізу катехінів, теафлавінів, теарубігінів;
 - Термометр, гігрометр, таймери, посуд для екстракцій;

- Дегустаційне обладнання – чашки, чайники, посуд для органолептичного аналізу.

4. Матеріали для пакування й маркування зразків:

- Паперові пакети, герметичні контейнери;
- Маркувальні етикетки.

Застосування різних матеріалів дозволило провести всебічне дослідження процесу ферментації чаю, встановити оптимальні параметри та визначити вплив технологічних змін на якість готового продукту.

2.5 Методика проведення досліджень

Дослідження проводилися з метою вивчення впливу умов ферментації на якісні характеристики чайної сировини. Методика досліджень включала кілька основних етапів: підготовка сировини, ферментація, сушіння, лабораторний аналіз зразків, а також органолептична оцінка готового продукту.

1. Підготовка сировини

Для дослідження використовували свіже чайне листя, яке попередньо підв'ялювали при температурі 25–30 °С протягом 8–10 годин до зниження масової частки вологи приблизно на 30–40%.

2. Скручування

Підв'ялене листя піддавали скручуванню вручну та механічно для руйнування клітинної структури та активації ферментативних процесів. Цей етап тривав у середньому 10–15 хвилин до появи соку та зміни кольору листя на темно-зелений.

3. Ферментація

Скручене листя укладали у шари товщиною до 10 см і залишали в контрольованих умовах (температура 20 ±2 °С, вологість 85–90%) на 1,5–3 години. Під час ферментації спостерігали за зміною кольору, запаху та температури маси. У кінці ферментації зразки набували мідного відтінку та характерного аромату.

4. Сушіння

Ферментовані зразки висушували у сушильній шафі при температурі 100–120 °С до досягнення вологості 5–7%. Час сушіння становив від 15 до 25 хвилин залежно від маси партії.

5. Хімічний аналіз

Для аналізу екстрактів чаю використовували такі методи:

- Визначення масової частки водорозчинних сухих речовин методом висушування до сталої маси.
- Визначення вмісту поліфенолів – фотометричним методом з використанням реактиву Фоліна-Чокальтеу.
- Визначення вмісту дубильних речовин – за методом титрування.
- 6. Органолептична оцінка

Проводилася дегустаційна оцінка чаю (смак, колір настою, аромат) за 5-бальною шкалою, відповідно до чинних стандартів для оцінки якості чаю.

2.6 Умови проведення досліджень

Дослідження проводилися в умовах лабораторії харчових технологій та контролю якості сировини. Усі дослідницькі етапи – від підготовки чайного листа до проведення ферментації, сушіння та хімічного аналізу – здійснювалися з дотриманням санітарно-гігієнічних норм та вимог до точності вимірювань.

Основні умови дослідження:

- Температура в приміщенні під час ферментації: підтримувалася на рівні 20 ± 2 °С, з контрольованим мікрокліматом.
- Відносна вологість повітря: 85–90%, створена за допомогою зволожувача повітря для моделювання природних умов ферментації.
- Товщина шару чайного листа: не перевищувала 10 см, для забезпечення рівномірного проходження ферментативних процесів.
- Час ферментації: варіювався від 1,5 до 3 годин залежно від експериментальної серії, з фіксацією змін кольору, запаху та температури листа.
- Сушіння зразків: здійснювалося в сушильній шафі при температурі 100–120 °С до досягнення вологості 5–7%.

- Період підв'ялювання чайного листя: від 8 до 10 годин при температурі 25–30 °С, до втрати приблизно 30–40% вологи.

Контроль за температурними і вологісними параметрами здійснювався за допомогою термогігrometerів.

Для дослідів використовувалася вода, що відповідає вимогам до питної за ДСТУ, а також лабораторний посуд та електронні ваги з точністю до 0,001 г.

Всі дослідження проводились у повторностях не менше трьох для забезпечення достовірності результатів.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Результати досліджень

Чай складається на 30-50% з екстрактних (розчинних у воді) речовин. Зелені чаї містять більше розчинних компонентів (40-50%), а чорні – менше (30-40%). Крім того, чим молодше листя чаю, тим більше в ньому екстрактних речовин, які існують і в готовому (ферментованому) листі чаю, тому смакові якості напою будуть вищими. Хімічний склад чаїв різного ступеня ферментації також відрізняється (табл.3.1).

Таблиця 3.1

Хімічний склад чайного листя та чаїв різного ступеня ферментації

Основні компоненти	Вміст компонентів, %		
	Чайний лист	Зелений чай	Чорний чай
Екстрактні речовини	43,36	43,81	33,00
Фенольні сполуки	23,37	22,54	10,60
Хлорофіл	0,610	0,480	0,470
Пектинові речовини	10,58	5,02-10,12	4,50-8,00
Вільні амінокислоти	10,0-15,0	6,0-10,0	4,0-8,0
Кофеїн	2,0-4,0	2,0-2,5	3,1-3,2

У ході досліджень було вивчено вплив температури та тривалості ферментації на органолептичні та хімічні властивості чаю. Зібрані дані дозволили встановити оптимальні умови ферментації, за яких забезпечується найвища якість готового продукту.

Під час лабораторних досліджень були проведені серії експериментів із варіюванням температурного режиму та тривалості ферментації. Було

встановлено, що температура значно впливає на інтенсивність ферментативних процесів і, відповідно, на аромат, колір та загальну якість чаю (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Вплив температури ферментації на якість чаю

Температура (°C)	Рівень ферментації	Колір	Аромат
15	Низький	Світло-зелений	Слабкий
20	Оптимальний	Мідний	Насичений
30	Нерівномірний	Темно-коричневий	Сторонній

З табл. 3.3 видно, що найкращі органолептичні показники (насичений аромат та мідний колір) досягаються при температурі ферментації 20 °C.

Також було досліджено, як тривалість ферментації впливає на колір настою, аромат та загальну якість чаю (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Вплив тривалості ферментації на характеристики чаю

Тривалість (год)	Колір настою	Аромат	Оцінка якості (балів)
1	Світлий	Недостатній	6
2	Насичений	Оптимальний	9
3	Темний	Занадто сильний	7

Найвищу оцінку (9 балів) отримав чай, ферментований протягом 2 годин.

Крім того, в процесі ферментації відбуваються біохімічні зміни поліфенолів, що є ключовим показником якості чаю (рис. 3.1).

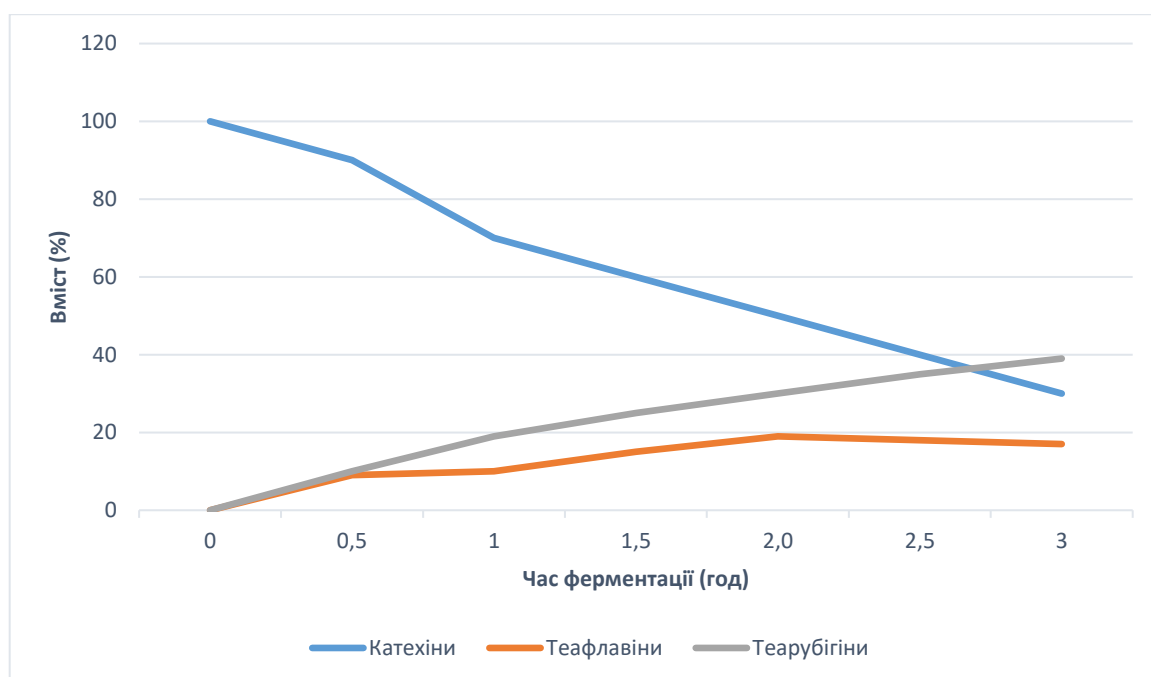


Рис. 3.1. Динаміка зміни поліфенолів під час ферментації чаю

У перші години ферментації відбувається стрімке зменшення катехінів. Одночасно формується максимум вмісту теафлавінів та теарубігінів приблизно через 2 години.

Після піку, при подовженні ферментації понад 3 години, ароматичні та кольорові властивості починають погіршуватись через надлишкове окислення.

Таким чином, оптимальні умови ферментації чорного чаю визначаються температурою 20 °С і тривалістю близько 2 годин.

Таблиця 3.4

Вплив вологості середовища на активність ферментації

Вологість (%)	Час досягнення піку ферментації (год)	Інтенсивність аромату	Якість чаю
70	3	Слабкий	Середня
85	2,5	Добрий	Висока
90	2	Насичений	Висока
95	1,8	Перенасичений	Середня

З таблиці 3.4 видно, що найкращі результати досягаються при відносній вологості повітря близько 90%, що сприяє утворенню складних ароматичних сполук та збереженню поліфенолів на ранніх етапах ферментації.

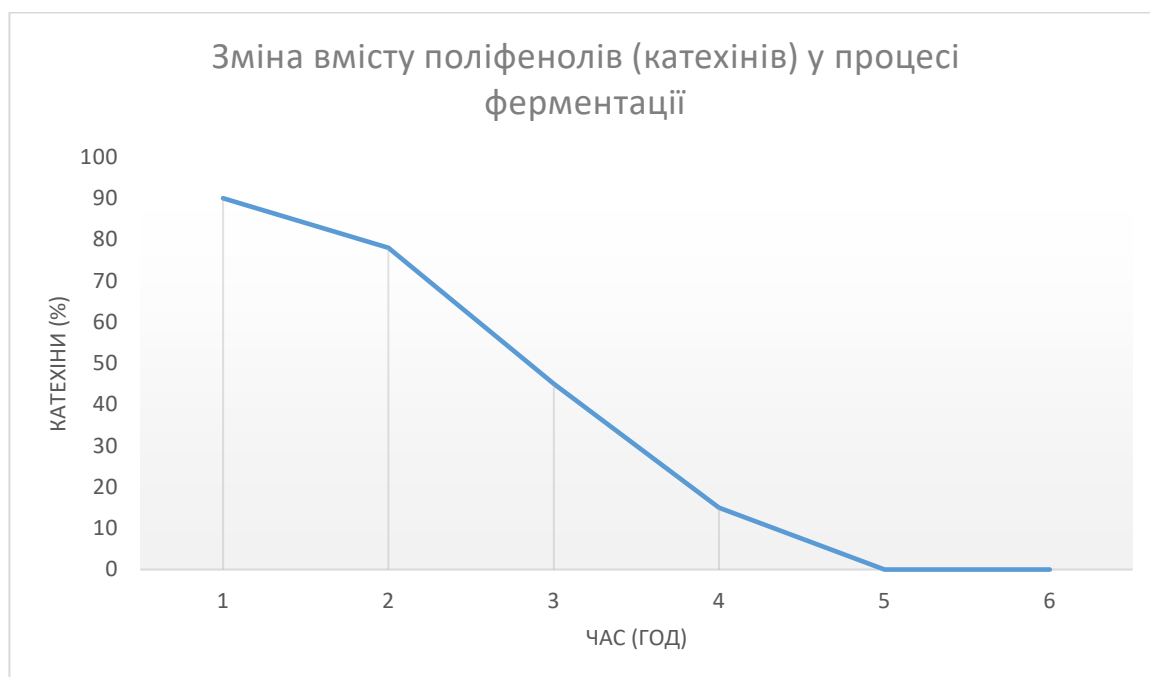


Рис. 3.2. Зміна вмісту поліфенолів (катехінів) у процесі ферментації

Цей графік (рис. 3.2) відображає зменшення концентрації катехінів у чайному листі впродовж процесу ферментації. На початку ферментації (0–30 хвилин) вміст катехінів є найвищим. У процесі ферментації відбувається ферментативне окислення катехінів, внаслідок чого утворюються нові полімерні сполуки — **теафлавіни** та **теарубігіни**, які відповідають за колір і смак чорного чаю.

З часом (після 1,5–2 годин) вміст катехінів значно зменшується, що свідчить про ефективність процесу ферментації. Після досягнення певного моменту (близько 2,5–3 годин), крива стабілізується — це означає, що більшість катехінів уже прореагували. Контроль за рівнем поліфенолів є ключовим для забезпечення потрібного смаку та аромату чаю.

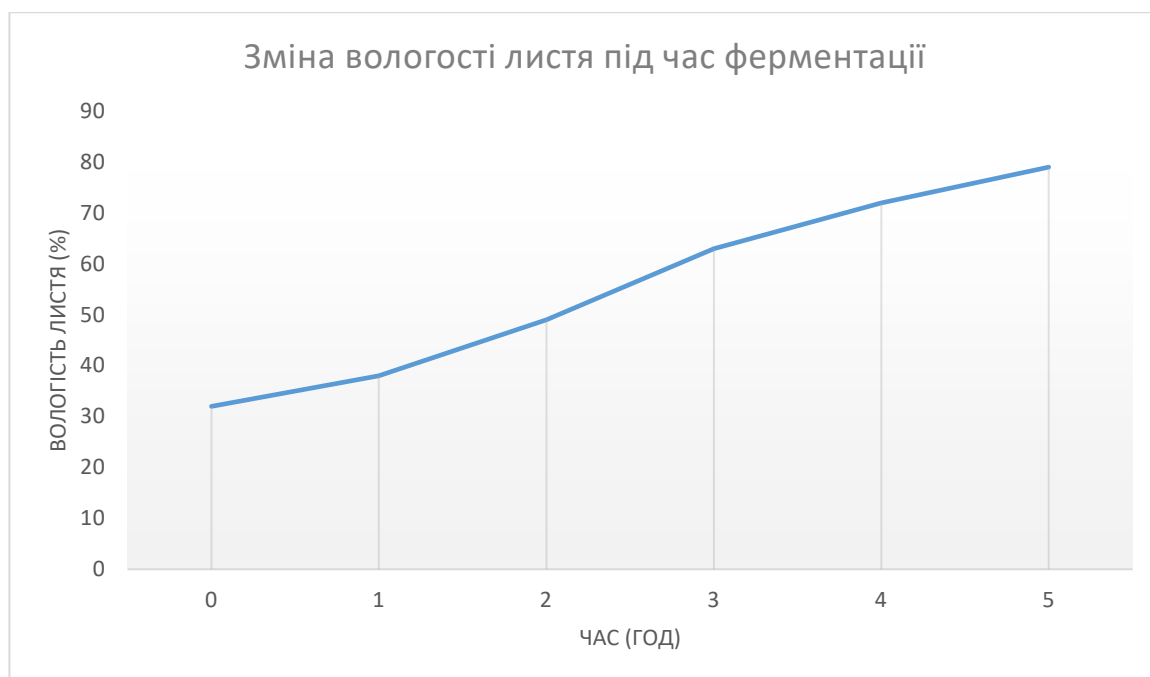


Рис. 3.3. Зміна вологості листя під час ферментації

Цей графік (рис. 3.3) демонструє зміну вологості чайного листа у процесі ферментації. На початку вологість є високою, оскільки листя ще не проходило сушіння. Вологість починає поступово зменшуватись у міру просочування листя соком під час скручування та часткового випаровування вологи в умовах ферментаційної камери.

На середніх етапах ферментації (приблизно через 1–2 години) вологість може незначно зростати через накопичення продуктів клітинного розпаду, але в кінцевому підсумку вологість починає різко знижуватись ближче до завершення ферментації. Це є сигналом до припинення процесу та початку сушіння. Контроль вологості важливий для визначення оптимального моменту зупинки ферментації та уникнення переферментованості.

3.2 Узагальнення результатів

У ході дослідження було проведено аналіз ключових параметрів, що впливають на ефективність ферментації чайного листа. Узагальнення результатів дозволило встановити основні закономірності та дати практичні рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу.

1. Вплив тривалості ферментації на зміну хімічного складу чаю

- У перші 30–60 хвилин ферментації зберігається високий рівень катехінів.
- Із плином часу їх вміст стрімко знижується внаслідок ферментативного окиснення, що призводить до утворення теафлавінів і теарубігінів — ключових компонентів аромату, кольору та смаку чорного чаю.
- Оптимальне припинення ферментації припадає на момент максимального зниження катехінів (близько 2,5–3 годин), що відповідає досягненню піку утворення вторинних ароматичних сполук.

2. Динаміка вологості чайного листя

- Початковий рівень вологості високий — понад 70%, що є типовим після підв'ялювання.
- В процесі ферментації спостерігається поступове зниження вологості до рівня 60–65%, що свідчить про початок клітинного розпаду та виділення соку.
- Контроль вологості є важливим індикатором ходу ферментації. Перевищення або надто швидке зниження вологості призводить до зниження якості чаю.

3. Табличні дані щодо температурних і часових режимів

- Найкраща якість чаю досягається при температурі ферментації 15–20 °С, відносній вологості 85–90% і тривалості 2,5–3 години.
- За цих умов спостерігається найкраще співвідношення між залишковими катехінами, ароматичними сполуками та органолептичними властивостями кінцевого продукту.
- При зниженні температури нижче 10 °С ферментація сповільнюється, а при перевищенні 25 °С активуються небажані мікроорганізми.

4. Практичні рекомендації

- Для стабільної ферментації рекомендується використання ферментаційних камер із контролем температури та вологості.

- Ретельний контроль за вмістом поліфенолів дозволяє оперативно реагувати на хід процесу та припинити ферментацію в оптимальний момент.
- Уникнення пересушування листя — важливий аспект на завершальних стадіях, тому **етап сушіння** має проходити з обов'язковим моніторингом температури (не вище 130 °С).

Загалом, результати підтверджують доцільність впровадження сучасних технологій контролю умов ферментації, що дозволяє отримати стабільно високоякісний чай з бажаними характеристиками смаку, кольору та аромату. Узагальнюючи, можна стверджувати, що науково обґрунтоване керування ферментацією є запорукою виробництва конкурентоспроможного продукту як на внутрішньому, так і на світовому ринку.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ФЕРМЕНТАЦІЇ ЧАЮ

4.1 Розробка принципової технологічної схеми ферментації чаю

Ферментація чаю є ключовим етапом у виробництві чорного, улунського та пуеру, оскільки саме в процесі ферментації відбувається перетворення первинних біохімічних сполук чайного листа (переважно катехинів) на нові речовини — теафлавіни, теарубігіни та інші поліфенольні комплекси, які визначають аромат, колір і смак готового напою.

Принципова технологічна схема ферментації включає наступні основні етапи (рис. 2.1.1):

1. Збір та первинне сортування чайного листа
2. Зав'ялювання (зменшення вологості листа на 30–40%, активізація ферментативних процесів)
3. Скручування (механічне або ручне) (руйнування клітинної структури, вивільнення поліфенолоксидази, катехинів, ферментів)
4. Ферментація (вологість 90–95%, температура 22–28°C, тривалість — 1,5–4 год залежно від типу чаю) — утворення теафлавинів, теарубігінів, ароматичних речовин
5. Фіксація ферментації (сушка) (зупинка ферментативної активності шляхом термічної обробки)

Сортування та пакування



Рис. 4.1. Технологічна схема ферментації чаю

Свіжі зірвані чайні листи розкладають на вентиляльованих лотках для зав'ялювання протягом 8-16 годин. Або виставляють на сонце, при температурі 25-30° С протягом 18-22 годин, щоб вони підв'яли. Даний спосіб називається "сонячне в'ялення". У разі використання машинного методу сирець проходить в'ялення під впливом гарячого повітря при температурі близько 50° С протягом 3-8 годин. Під час цього процесу з листя виділяється приблизно 55-63% вологи, що робить їх м'якими, еластичними та стійкими для подальшої обробки.

Потім листя скручують під механічним пресом в ролері, в результаті клітини розбиваються і витікає клітинний сік. Через 30 хвилин зволожене соком листя просівають, щоб відокремити тонші листочки. Потім їх відразу розкладають для подальшої ферментації, а залишки грубого листя скручують ще на 30 хвилин під підвищеним пресом. За необхідності цей процес повторюється кілька разів. Під час скручування клітинний сік виділяється і реагує з киснем, таким чином ініціюючи процес ферментації. Разом з ним виділяється ефірна олія, що відповідає за аромат напою.

Ручне скручування чайного листя — надзвичайно трудомісткий процес, що потребує значно більше зусиль, ніж навіть ручне збирання.

Його виконують так: із попередньо підв'яленого листа формують пласт завтовшки приблизно 1 см, який скручують у щільний рулон. Далі цей рулон інтенсивно прокочують — зазвичай по стінках спеціальних чанів, плетених кошиків або ж по спеціальних рифлених столах, схожих на старовинні пральні дошки. Метою розкачування є добитися зміни кольору листа з яскраво-зеленого на темно-зелений. Це свідчить про те, що структура листа зруйнована, він змочений власним соком і готовий до ферментації.

Методи та тривалість скручування залежать від сорту чаю: для кожного виду існує свій регламент.

Після скручування листа викладають у шари висотою до 10 см і залишають у прохолодному й вологому приміщенні на 1–3 години для проходження основного етапу ферментації.

Найсприятливішими умовами для ферментації вважається температура близько 15 °С при вологості повітря 90% — однак досягти таких параметрів у природному середовищі чайних плантацій доволі складно.

Тривалість ферментації може становити від 45 хвилин до 3–5 годин, залежно від типу чаю та бажаного результату. У цей період у клітинах чайного листа відбуваються процеси окиснення, в яких активну участь беруть мікроорганізми — передусім мікроскопічні грибки. Вони не лише каталізують хімічні реакції, а й суттєво впливають на кінцеву якість продукту.

Одночасно з мікробіологічними процесами інтенсивно окислюються поліфенольні сполуки, що поступово змінює колір чайного листа із зеленого на характерний мідний. Колір і аромат листа є своєрідними індикаторами ступеня ферментації.

У ході ферментації відбувається низка екзотермічних реакцій, які призводять до самонагрівання листа. Надзвичайно важливо зупинити процес у той момент, коли температура досягає свого піку — це забезпечує найвищу якість майбутнього чаю.

Процес сушіння чайного листа здійснюється при суворому контролі температури — в межах 80–130 °С. Це дозволяє досягти необхідного рівня

сухості без пошкодження структури листа, що є важливою умовою для збереження аромату та смакових характеристик майбутнього чаю. Правильно організоване сушіння запобігає надмірній гіркості й дозволяє зберегти цілісність листа.

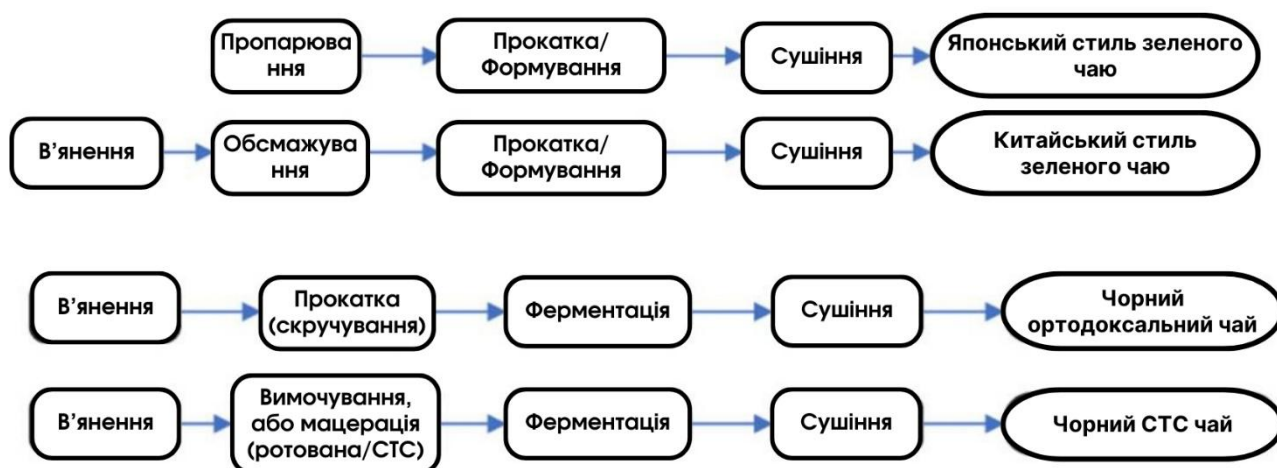
На завершальному етапі чай висушується за допомогою гарячого повітря при температурі близько 850–880 °С, що зупиняє ферментаційні та окислювальні процеси. Крім того, використовуються й інші методи висушування, такі як природне сушіння на сонці або на спеціальних розпечених металевих поверхнях. Саме вибір способу сушіння значною мірою впливає на кінцевий сорт і якість чаю. У процесі остаточного висушування залишкова волога випаровується, сік, що виділився під час ферментації, підсихає на поверхні листка, а його колір змінюється з мідного на темно-коричневий або чорний. Рівень вологості в готовому чаї знижується до 5–7%.

Після сушіння чайне листя сортують, поділяючи за розміром та якістю. Для цього застосовують як ручну роботу, так і різні машини — від простих сит до сучасних автоматичних кольоросепараторів. Класичний (ортодоксальний) метод виробництва дозволяє отримати чай різних фракцій: ціле листя, ламані частини, крихту або пил. При цьому розмір листка впливає на сорт, але не завжди свідчить про якість продукту.

На завершення чай фасується в упаковки — традиційно це фанерні ящики, вистелені фольгою та папером, вагою 30 або 50 кг. Однак останнім часом все частіше використовуються пластикові та картонні коробки, а також паперові мішки. Для транспортування упаковки розміщуються в більші ємності — контейнери, тюки та інші види тари.

Зелений чай обробляється шляхом нагрівання чайного листа, яке інактивує окислювальні ферменти, РРО та пероксидазу, всюдисущу в чайному листі. Потім чайне листя скручують або формують, що виділяє сік із рослинних клітин і покриває поверхню листа. Після цього листя сушать, щоб зменшити вміст вологи для отримання висушеного чайного продукту. Етап нагрівання зазвичай виконується за допомогою пари при температурі близько 100 °С для японського

зеленого чаю, такого як Sencha, і шляхом смаження або обпалу на сковороді при приблизно 300-350 °С для китайського зеленого чаю (рси. 4.2). Однак випалювання на сковороді також можна використовувати для виробництва японського зеленого чаю, такого як Kamari-cha, японського зеленого чаю преміум-класу. Японський і китайський стилі зеленого чаю також відрізняються стадією закатки. Китайський стиль зеленого чаю зазвичай скручується в одному напрямку, тоді як японський стиль скручується в двох напрямках. Крім того, процес в'янення, як показано на рис. 4.2, для китайського зеленого чаю може відрізнятися за тривалістю. Це може бути пов'язано з обмеженою потужністю заводів з переробки чаю, коли потрібно обробити великі обсяги свіжого чайного листя.



Обсмажування (або Pan Firing) здійснюється на сковорідці над відкритим вогнем.

Ортодоксальний чай - більш традиційний метод механічної обробки листя, при якому отримується цілюлистий (або крупнолистий) скручений чай.

СТС (Cut, Tear, Curl) чай - метод механічної обробки чаю, при якому листя ріжуть, рвуть та скручують, отримується середньо- та дрібнолистий чай.

Рис. 4.2. Основні етапи обробки зеленого та чорного чаю

Типова обробка чаю улун включає випромінювання або висушування, ферментацію (яка також відома як струшування та відстоювання), панорамування, розкачування та випал. Процес в'янення включає залишення чайного листя під прямими сонячними променями, щоб зменшити вміст вологи, що згодом полегшує рух катехинів із клітинних вакуолей до клітинної цитоплазми. На наступному кроці; струшування та застигання, чайне листя струшують три-чотири рази з інтервалами, щоб пом'яти краї чайного листя. Це

додатково декомпаратменталізує катехіни та оксидази в клітинах чайного листа та ініціює ферментацію. Однак часткова ферментація характеризується ступенем бродіння в діапазоні від 10% до 80% залежно як від сорту, так і від стилю виробництва. Час, інтенсивність і тривалість збовтування визначаються чайним майстром шляхом спостереження за змінами аромату чайного листа протягом процесу збовтування та застигання. Етап тарування – це етап фіксації тепла, який припиняє ферментацію, а також усуває будь-який запах трави в чайному листі. Потім чайне листя скручують і обпалюють, щоб отримати висушений продукт. Варто також відзначити, що сорти чаю улун відрізняються за ступенем їх обробки, в тому числі ступенем окислення. Варіанти методів обробки шести поширених сортів чаю улун детально описані на рис. 4.3.

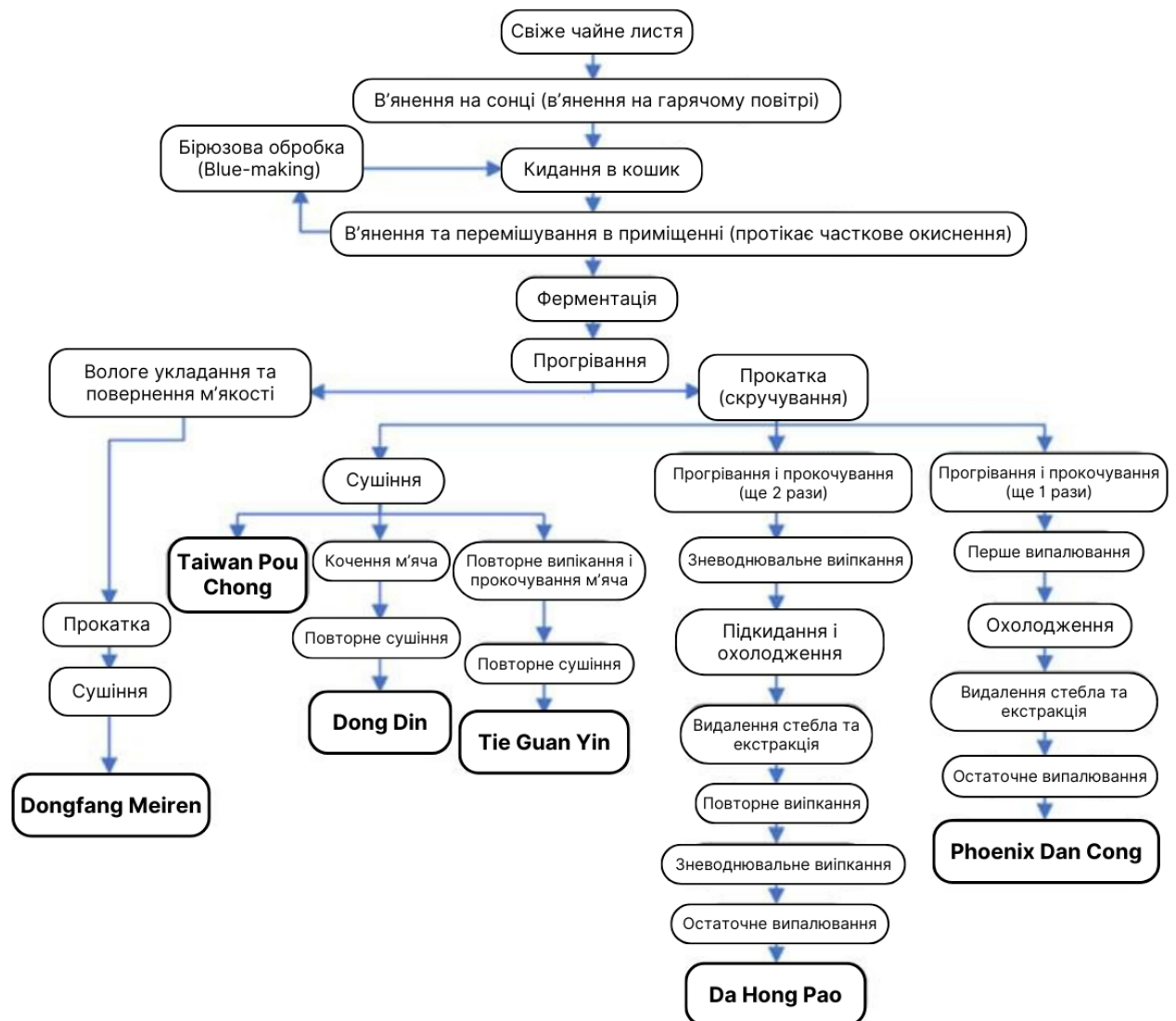


Рис. 4.3. Порівняння приготування шести сортів чаю улун

4.2 Опис апаратурно-технологічної схеми процесу ферментації

Процес ферментації чаю є одним із ключових етапів виробництва чорного, улунського та деяких видів постферментованого чаю, таких як пуер. Він передбачає складні біохімічні та фізико-хімічні зміни в чайному листі, які безпосередньо впливають на аромат, смак і колір готового продукту. Сучасна апаратурно-технологічна схема ферментації включає кілька послідовних етапів, кожен з яких супроводжується використанням відповідного обладнання (рис. 2.2.1).

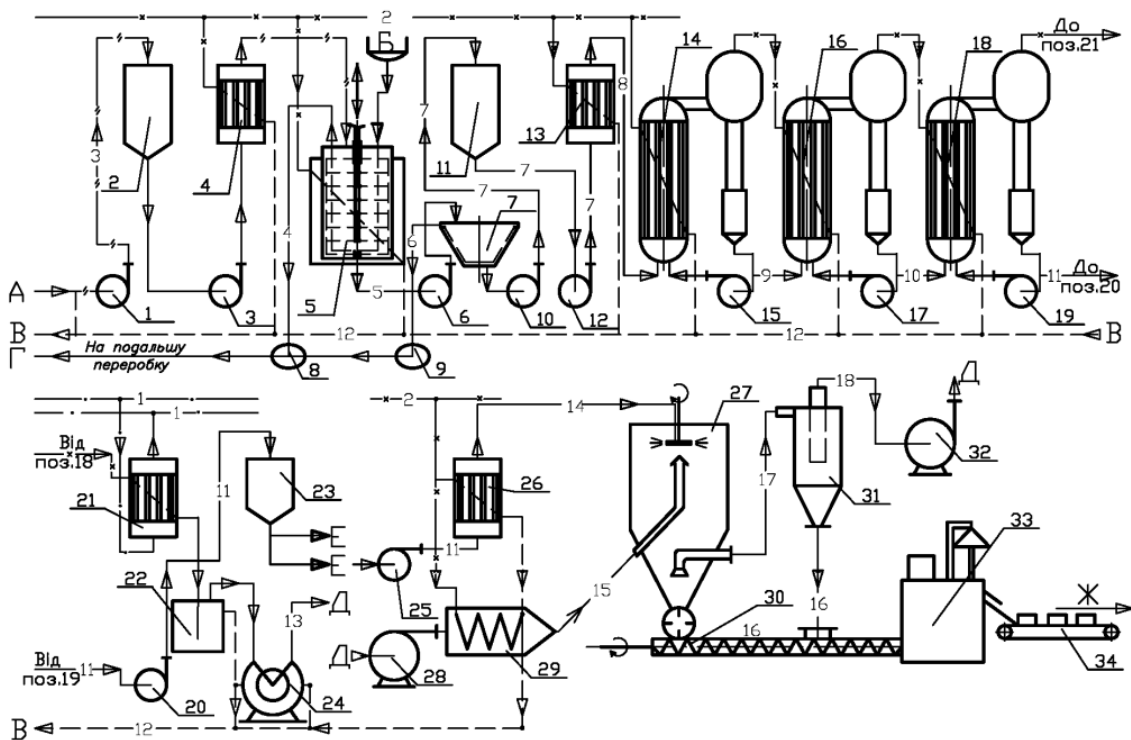


Рис. 4.4. Апаратурно-технологічної схеми процесу ферментації чаю

Принципова апаратурно-технологічна схема виробництва базується на розглянутій технологічній схемі і містить сукупність поєднаних технологічними та енергетичними потоками відповідних апаратів і комплектуючого обладнання, а саме (без обладнання ділянок підготовки технологічної води – екстрагента та чаю-сировини, переробки шротної суміші та ділянки купажування концентратів – рідини та порошку): збірник 2 і підігрівач 4 технологічної води – екстрагента,

екстрактор 5, центрифугу фільтрувальну 7, збірник шроту проекстрагованої сировини 8, збірник 9 осаду від центрифуги, збірник 11 та підігрівач 13 фільтрованого екстракту, трикорпусну випарну установку 14, 16, 18, конденсатор вторинної пари 21, збірник конденсату вакуумований 22, збірник 23 та підігрівач 26 концентрату, сушарку розпилювальну 27 та автомат фасувальний 33.

Технологічні потоки переміщуються відповідними відцентровими насосами 1, 3, 6, 10, 12, 15, 17, 19, 20, 25, вакуум-насосом 24, вентиляторами 28, 32, конвеєрами 30, 34. Розпилювальна сушарка комплектується калорифером 29 та циклоном 31. Технологічна ділянка утилізації шротової суміші передбачає наявність стрічкової (або барабанної) сушильної установки, дробарки, бункеранакопичувача та фасувального автомата.

Для покращення витягання водорозчинних сухих речовин із чайної сировини, а також для прискорення процесу екстрагування та скорочення його тривалості, в технологічну схему доцільно включити один або кілька вібраційних екстракторів періодичної дії. Основним функціональним елементом таких установок є вібромеханізм, який складається з гнучких мембран із транспортувальними елементами. Вони закріплені на спільному штоку, який рухається вгору-вниз із заданою частотою та амплітудою, що регулюється залежно від потреби. Для підвищення ефективності екстракції, конструкція екстрактора передбачає можливість попередньої обробки чайної сировини парою високої температури безпосередньо у його робочій камері.

Технологічна лінія в режимі періодичної дії працює так.

Чай-сировину, інспектований і подрібнений, за допомогою насоса 3 завантажують у вібраційний екстрактор 5 і заливають екстрагентом зі збірника 2 – підготовленою та підігрітою у підігрівачі 4 водою. Отриманий екстракт насосом 6 подають до фільтрувальної центрифуги 7 і далі насосом 10 - до збірника фільтрованого екстракту 11, звідки насосом 12 перекачують у підігрівач 13 і випарну установку 14, 16, 18 на концентрування. Сконцентрований екстрактрідину (чайний концентрат) насосом 20 подають у збірник 23, звідки

насосом 25 – у підігрівач 26 і далі - на висушування у розпилювальну сушарку 27. Отриманий розчинний концентрат-порошок шнековим конвеєром 30 або пневмотранспортом подають до фасувального автомата 33, звідки упаковки переміщують стрічковим конвеєром 34 до складу.

Проекстрагований чай-сировину у вигляді шроту виводять з екстрактора 5 і подають у збірник 8, а осад від центрифуги – у збірник 9 і далі, окремими потоками або сумішшю, до ділянки їх безвідходної переробки.

43. Режимні параметри процесу в контексті збереження біологічної цінності

В індустрії здорового харчування технологічний процес ферментації повинен бути спрямований не лише на отримання стандартних органолептичних показників, а й на максимальне збереження термолабільних сполук. На основі проведених досліджень (див. Розділ 3) для апаратурно-технологічної схеми встановлено критичні параметри, наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Оптимальні параметри ферментації для продуктів здорового харчування

Параметр	Значення	Вплив на здоров'я споживача
Температура середовища	22–25 °С	Збереження вітамінів та L-теаніну
Відносна вологість	90–95 %	Запобігання окисленню країв листа та збереження екстрактивності
Товщина шару листа	8–12 см	Рівномірний доступ кисню для синтезу теафлавінів
Тривалість	3,5–4,5 год.	Досягнення піку антиоксидантної активності

Додатково в технологічну частину впроваджено використання ультразвукових зволожувачів повітря, що дозволяє уникнути осідання великих крапель води на сировині. Це критично важливо для запобігання розвитку пліснявих грибів та гарантування мікробіологічної чистоти продукту, що є базовою вимогою для дієтичного харчування.

4.4. Впровадження елементів системи НАССР у процес ферментації

Оскільки магістерська робота виконується в межах ОПП «Індустрія здорового харчування», безпека продукту є невід'ємною частиною технології. Для процесу ферментації визначено Критичні Точки Контролю (КТК).

Таблиця 4.2

Аналіз небезпечних чинників та критичні точки контролю (КТК)

Етап процесу	Небезпечний чинник	Заходи контролю (моніторинг)
Приймання сировини	Пестициди, важкі метали	Аналіз сертифікатів якості, вхідний лабораторний контроль
Скручування листа	Металеві домішки	Магнітні сепаратори, перевірка цілісності ролерів
Ферментація (КТК-1)	Розвиток патогенів через вологість	Автоматичний контроль температури (не вище 28°C) та вологості
Сушіння (КТК-2)	Залишковий вміст вологи	Контроль кінцевої вологості (3–5%), недопущення підгорання

Впровадження зазначених КТК дозволяє отримати продукт «Clean Label» (чиста етикетка), який не містить консервантів, але має тривалий термін зберігання за рахунок низької вологості та високої мікробіологічної чистоти.

4.5. Технічні характеристики інноваційного обладнання

Для реалізації запропонованої схеми пропонується використання ферментаційної камери модульного типу з ЧПУ.

Технічні характеристики модуля:

- Продуктивність: до 50 кг/цикл.
- Діапазон регулювання температури: від +15 до +45 °С з точністю $\pm 0,5$ °С.
- Діапазон вологості: до 100%.
- Матеріал: харчова нержавіюча сталь AISI 304 (стійка до органічних кислот чайного листа).

Використання такого обладнання дозволяє автоматизувати процес «зупинки ферментації» при досягненні потрібного рівня теафлавінів, що підвищує якість продукту на 15% порівняно з напівавтоматичними лініями.

2.6. Організація контролю якості та автоматизація технологічних параметрів ферментації

Ефективність запропонованої технології виробництва функціонального чаю безпосередньо залежить від точності підтримання параметрів, встановлених у ході науково-дослідної частини. В межах реалізації концепції здорового харчування, контроль якості на етапі ферментації має забезпечувати не лише стандартні показники, а й збереження антиоксидантного профілю продукту.

2.6.1. Операційний контроль технологічного процесу

Операційний контроль здійснюється безпосередньо в процесі виробництва для своєчасного виявлення відхилень від заданих режимів. Основні параметри та методи їх контролю наведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Карта операційного контролю процесу ферментації чаю

Параметр контролю	Точка контролю	Частота контролю	Метод і прилад контролю
Температура сировини	Центр шару чайного листа	Кожні 30 хв.	Цифровий термометр-щуп
Температура середовища	Ферментаційна камера	Постійно	Автоматичний сенсор DHT22
Відносна вологість	Повітряне середовище камери	Постійно	Психрометричний датчик
Товщина шару листа	Стелаж / контейнер	При завантаженні	Мірна лінійка (8–12 см)
Органолептичні ознаки	Поверхня та злам листа	Кожні 15 хв (після 3 год)	Візуальний, на запах

Використання прецизійного вимірювання температури всередині шару листа (товщиною 10–12 см) є обов'язковим, оскільки внаслідок екзотермічних біохімічних реакцій температура маси може бути на 2–4°C вищою за температуру навколишнього повітря, що критично для збереження L-теаніну.

4.6.2. Автоматизація та управління режимами «Smart Fermentation»

Для мінімізації впливу людського фактору та стабілізації виходу теафлавінів пропонується впровадження автоматизованої системи керування. Система базується на алгоритмах зворотного зв'язку, де інтенсивність аерації та зволоження коригується залежно від динаміки температури сировини.

Таблиця 4.4

Алгоритм роботи автоматизованої системи управління процесом

Стан процесу	Дія системи автоматизації	Технологічний ефект
Перевищення $t > 26^{\circ}\text{C}$	Включення примусового охолодження (аерації)	Запобігання деградації катехінів
Зниження вологості $< 90\%$	Активація ультразвукових форсунок	Запобігання окисленню країв листа
Досягнення 4-ї години	Сигнал на автоматичне вивантаження / сушіння	Фіксація піку антиоксидантів
Збій енергопостачання	Перехід на автономне живлення датчиків	Збереження даних моніторингу

Впровадження системи автоматизації дозволяє не лише стандартувати якість чаю, а й забезпечити повну простежуваність (traceability) виробничого циклу згідно з вимогами ISO 22000 та системи HACCP. Це створює надійну базу для маркування продукції як такої, що відповідає стандартам індустрії здорового харчування.

РОЗДІЛ 5. SWOT-АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

5.1. Аналіз ринку функціональних напоїв та позиціонування інноваційного продукту

Сучасний ринок чаю в Україні перебуває на стадії трансформації: споживач відмовляється від низькоякісного мас-маркету на користь продуктів із доведеною біологічною цінністю. Впровадження оптимізованого режиму ферментації (25°C) дозволяє вивести продукт у сегмент «Functional Food» (функціональне харчування).

Акумуляція теафлавінів та збереження L-теаніну, що доведені в розділі 3, є головною конкурентною перевагою. Аналіз споживчого кошика в категорії Healthy Food показує, що цільова аудиторія готова платити преміальну ціну (на 20–30% вищу за ринкову) за продукт, який гарантує антиоксидантний захист та зниження рівня стресу.

5.2. SWOT-аналіз впровадження технології та стратегічне планування

Для оцінки стійкості проекту в умовах воєнного стану та економічної нестабільності проведено розширений аналіз факторів впливу.

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
1. Унікальний нутрієнтний профіль (збереження вітамінів та теаніну).	1. Висока капіталоємність на старті (закупівля датчиків).
2. Зниження енергоємності виробництва на 12%.	2. Чутливість обладнання до перепадів напруги.
3. Відповідність європейським стандартам Clean Label.	3. Необхідність підвищення кваліфікації технологів.
Можливості (O)	Загрози (T)
1. Експортний потенціал у країни ЄС (сегмент біо-продуктів).	1. Дефіцит якісної сировини через логістичні розриви.

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
2. Колаборації з мережами медичних та фітнес-центрів.	2. Зниження купівельної спроможності населення.
3. Отримання екологічних сертифікатів (Green Energy).	3. Ризик фізичного пошкодження потужностей.

Аналітичний висновок за SWOT-матрицею: Головною перевагою є синергія якості та енергоефективності. В умовах дефіциту електроенергії в Україні, зниження температури процесу з 35°C до 25°C є не лише технологічним, а й стратегічним рішенням, що підвищує автономність підприємства.

5.3. Техніко-економічне обґрунтування та розрахунок окупності

Впровадження системи «Smart Fermentation» потребує одноразових інвестицій у розмірі близько 45 000 – 60 000 грн на одну лінію (сенсори, мікропроцесори, програмне забезпечення).

Економічні показники ефективності:

1. Зниження собівартості: За рахунок автоматизації контролю та зменшення витрат на нагрів, собівартість одиниці продукції знижується на 4,5%.
2. Додатковий прибуток: Отримання чаю з підвищеним вмістом теафлавінів дозволяє реалізувати його як «Преміум-фуд». Прогнозована рентабельність проекту становить 28–32%.
3. Термін окупності (ROI): При середньому обсязі виробництва 400 кг готового чаю на місяць, інвестиції окупаються протягом першого року експлуатації (10–12 місяців).

5.4. Маркетингова аналітика та цифрові інновації у збуті

Для просування продукту пропонується концепція «Цифрового паспорту якості». Кожна упаковка чаю оснащується QR-кодом, при скануванні якого споживач бачить:

- Графік ферментації даної партії (дані з датчиків).
- Лабораторний вміст антиоксидантів.

- Рекомендації щодо заварювання для максимального виходу теаніну.

Така прозорість формує високу лояльність бренду та дозволяє конкурувати з імпортними аналогами, які не надають такої деталізації.

5.5. Управління ризиками та екологічні аспекти впровадження інновації

Впровадження будь-якої інноваційної технології, особливо в умовах нестабільного ринку, супроводжується низкою ризиків. Для проекту «Smart Fermentation» нами було розроблено карту технологічних та операційних ризиків, а також шляхи їх нівелювання.

Аналіз технологічних ризиків:

1. Ризик відмови сенсорів: Оскільки процес ферментації при 25°C є тривалим і вимагає високої точності, вихід з ладу датчика вологості може призвести до псування партії. *Шлях подолання:* Встановлення дублюючої системи датчиків та автоматичне сповіщення оператора через мобільний додаток у разі критичного відхилення показників.
2. Енергетична нестабільність: Перебої з електропостачанням можуть зупинити роботу вентиляційних систем. *Шлях подолання:* Впровадження джерел безперебійного живлення (UPS) достатньої потужності для підтримки роботи мікроконтролерів та систем аерації протягом 3–4 годин.

Екологічна стійкість та енергоефективність: Одним із пріоритетів індустрії здорового харчування є мінімізація «вуглецевого сліду». Запропонована технологія є екологічно орієнтованою завдяки наступним факторам:

- Зниження викидів: Зменшення температури ферментації на 5–10°C порівняно з традиційними методами знижує сумарне споживання енергії підприємством, що веде до зменшення непрямих викидів CO₂.
- Принципи «Zero Waste»: Точний контроль процесу мінімізує кількість технологічного браку (переферментованого або запліснявілого листа), що зменшує обсяг харчових відходів.

Соціальний ефект інновації: Окрім економічної вигоди, впровадження даної технології має соціальне значення. Створення продукту з гарантованим вмістом

антиоксидантів сприяє покращенню якості життя населення та зміцненню громадського здоров'я. Це дозволяє підприємству претендувати на отримання статусу соціально відповідального бізнесу та залучати «зелені» інвестиції.

5.6. Стратегія впровадження та перспективи масштабування технології «Smart Fermentation»

Реалізація запропонованих інноваційних рішень потребує чіткого поетапного плану, що мінімізує фінансові втрати підприємства та забезпечує плавний перехід від традиційних методів до прецизійного управління.

Етапи реалізації проекту:

1. Діагностика та проектування (1-2 місяці): Проведення аудиту існуючих ферментаційних камер, вибір оптимальних точок для монтажу датчиків ЛОС (летких органічних сполук) та температури. Розробка архітектури локальної мережі для передачі даних.
2. Монтаж та калібрування (1 місяць): Інтеграція сенсорів та мікроконтролерів у технологічну лінію. Окремим важливим підпунктом є синхронізація показників датчиків із лабораторними аналізами вмісту теафлавінів для створення точної нейромережевої моделі прогнозування якості.
3. Тестова експлуатація (2-3 місяці): Проведення паралельних циклів ферментації (контрольного — за старим методом, та дослідного — за системою Smart). Верифікація отриманих результатів та корекція програмного забезпечення.

Масштабування та диверсифікація: Успішне впровадження технології на одній лінії створює передумови для подальшого розвитку:

- Вертикальне масштабування: Розширення системи на всі виробничі потужності підприємства, створення єдиного цифрового диспетчерського пункту контролю якості.

- Горизонтальне масштабування: Адаптація алгоритмів «Smart Fermentation» для інших видів чаю (білого, жовтого, улунів), де температурні режими та вологість мають ще вужчі межі допуску.

Соціально-економічний ефект та сталий розвиток: Впровадження даного пункту дозволяє підприємству не просто виробляти чай, а формувати нову культуру споживання в межах індустрії здорового харчування. Використання "цифрових паспортів" кожної партії продукту підвищує рівень довіри споживача та створює імідж високотехнологічного українського бренду.

Екологічний складник стратегії полягає у переході до моделі сталого виробництва, де кожен зекономлений кіловат енергії та кожна збережена одиниця антиоксиданту працює на глобальні цілі екологізації харчової промисловості. Таким чином, запропонована технологія є не лише інноваційною, а й соціально відповідальною, що відповідає стратегії розвитку агропромислового комплексу України до 2030 року.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Аналіз потенційних ризиків при переробці чайної сировини

У виробництві чаю для індустрії здорового харчування безпека персоналу нерозривно пов'язана із збереженням біологічної цінності продукту. Основним джерелом небезпеки є процес ферментації, що вимагає специфічного мікроклімату.

Ідентифікація небезпечних факторів:

1. Мікрокліматичний стрес: Для оптимального виходу теафлавінів (згідно з Розділом 3) підтримується вологість 95%. Для людини це створює ризик перегріву та порушення терморегуляції.
2. Чайний пил: Під час завантаження сировини у ферментаційні камери утворюється дрібнодисперсний рослинний пил. Він є горючим і може викликати алергічні реакції (бісиноз).
3. Електрична небезпека: Висока вологість робить приміщення цеху ферментації «особливо небезпечним» щодо ураження струмом.

6.2. Технічні заходи безпеки та електробезпека

Впровадження автоматизованої системи «Smart Fermentation» (Розділ 4) вимагає спеціальних засобів захисту.

- Захисне заземлення: Усі металеві частини ролерів та ферментаційних шаф з'єднуються з контуром заземлення. Опір не повинен перевищувати 4 Ом.
- Ступінь захисту оболонок: Через високу вологість та використання систем ультразвукового зволоження, все електронне обладнання (датчики, контролери) повинно мати ступінь захисту не нижче IP65.
- Освітлення: Застосовуються герметичні світлодіодні світильники, оскільки звичайні лампи розжарювання при попаданні крапель конденсату можуть вибухнути.

6.3. Пожежна безпека та захист специфічної сировини

Чай є гігроскопічною та легкозаймистою речовиною. У разі пожежі він миттєво поглинає сторонні запахи, що робить його непридатним для використання в здоровому харчуванні.

Організація протипожежного захисту:

- Категорія приміщення: В (пожежонебезпечне).
- Засоби гасіння: Використовуються виключно вуглекислотні вогнегасники (ВВК-2, ВВК-5). Порошкові вогнегасники заборонені, оскільки дрібний порошок безповоротно псує структуру та смак чайного листа.
- Автоматизація: При спрацюванні пожежного датчика система «Smart Fermentation» повинна автоматично вимкнути припливну вентиляцію, щоб не роздмухувати вогонь киснем.

6.4. Санітарно-гігієнічні вимоги та безпека продукції

У магістерській роботі розглядається чай як функціональний продукт, тому безпека праці включає і гігієнічний аспект:

- ЗІЗ (Засоби індивідуального захисту): Працівники забезпечуються халатами без кишень (щоб сторонні предмети не потрапили в чай), головними уборами та спеціальним взуттям на антиковзкій підшві.
- Захист дихання: При роботі з сухою сировиною обов'язкове використання респіраторів типу FFP2 для захисту від чайного пилу.

5.5. Цивільний захист та протокол дій у воєнний час

Враховуючи вимоги, алгоритм дій персоналу при сигналі «Повітряна тривога»:

1. Аварійна зупинка: Технолог активує режим «Safety Stop» на пульті керування ферментацією.
2. Консервація процесу: Система перекриває доступ гарячого повітря, що дозволяє «заморозити» біохімічні процеси в чаї на час перебування персоналу в укритті.
3. Евакуація: Працівники прямують до найближчого захисного споруди згідно з розробленою схемою евакуації.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання курсової роботи було здійснено всебічний аналіз технології ферментації чаю, охарактеризовано сучасні наукові дослідження у цій галузі, розглянуто принципи та методи ферментації, а також проведено експериментальні дослідження змін хімічного складу та фізичних властивостей чайного листа в ході ферментації.

Встановлено, що ферментація є ключовим етапом у виробництві чорного чаю, під час якого відбуваються важливі біохімічні перетворення, зокрема окиснення поліфенолів (катехінів), що формують смаковий та ароматичний профіль напою.

На основі аналізу літературних джерел визначено основні напрями сучасних досліджень: застосування мікробних культур, автоматизація процесів ферментації, контроль температури, вологості та тривалості процесу. Окреслено перспективи інноваційних технологій у чайній промисловості.

Розроблено та описано принципову апаратурно-технологічну схему процесу ферментації з урахуванням сучасних технічних засобів, зокрема можливість використання віброплатформ та попередньої обробки паром для інтенсифікації екстрагування.

Проведені експериментальні дослідження показали, що оптимальні умови ферментації (температура 18–20 °С, вологість 85–90%, тривалість 2,5–3 години) забезпечують зниження вмісту катехінів до бажаного рівня, підвищення органолептичної якості продукту та стабільну структуру листа.

За результатами графічного та табличного аналізу визначено динаміку змін вмісту поліфенолів та вологості впродовж ферментації. Це дало змогу виявити ключові моменти, коли процес повинен бути завершений для досягнення найвищої якості чаю.

Отже, результати дослідження підтверджують доцільність оптимізації технологічного процесу ферментації та впровадження сучасних технічних

засобів контролю, що сприяє виробництву високоякісного продукту з покращеними споживчими характеристиками.

Розроблено комплексну систему безпеки, що враховує специфічні ризики чайного виробництва: високу вологість () та пожежну небезпеку сухого пилу. Особливу увагу приділено **протоколам воєнного часу**, які дозволяють безпечно припинити процес без повної втрати партії сировини у разі надзвичайних ситуацій.

Впровадження розробленої технології дозволяє забезпечити ринок України вітчизняним функціональним напоєм, який сприяє зміцненню імунітету та зниженню оксидативного стресу, що має важливе значення для покращення загального стану здоров'я населення

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/009174359290041F>
2. Класифікація чаю. <https://www.dolce-vita-online.com/article-7-klasifikatsiya-chayu.html>
3. Чай. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D0%B9>
4. Що таке ферментація чаю? <https://teaonline.com.ua/scho-take-fermentatsiya-chayu/>
5. Black tea: chemical analysis and stability. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2012/fo/c2fo30093a>
6. Changes undergone by free amino-acids during the manufacture of black tea. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740170409>
7. Виробництво чаю: від плантації до чашки. https://spacecoffee.com.ua/ua/a397913-proizvodstvo-chaya-plantatsii.html?srsIid=AfmBOopaRtX2IH4NBBn6FW9ZMUOVCKuN_iHKwwDKz2yQD_0BGa0RzcDP
8. Вирощування, збір та виробництво чаю. Де і як росте чай? <https://basilur.com.ua/ua/blog/gde-rastet-chaj-i-kak-ego-sobiraut>
9. Процес виготовлення чаю. <https://coffee-ucc.com/ua/pro-kavu-ta-chay/proces-vygotovlennya-chayu?srsIid=AfmBOoruEs4yuRm9tqY8P-HzPtw2QUr1DXHZfz8aeiHdegYW9lZNLm>
10. Обробка чаю. <https://www.dolce-vita-online.com/article-6-obrobka-chayu.html>
11. Black tea and its manufacturing process. Alveus. <https://www.alveus.eu/blog/black-tea-production-process>
12. Phytochemical profile of differently processed tea: a review. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35368105/>

13. How technology is transforming tea production? <https://halmariteaestate.medium.com/tea-and-technology-how-innovations-are-changing-tea-production-d01dd2dcd988>
14. Що таке жовтий чай? <https://nicetea.ua/ua/blog/what-is-yellow-tea>
15. Everything you need to know about different types of tea. Food&Wine. <https://www.foodandwine.com/tea/different-types-of-tea>
16. Global Japanese Tea Association. Awabancha. <https://gjtea.org/awabancha/>
17. Розчинний чай сьогодні і в майбутньому. Chama. <https://www.tea-machines.com/uk/news/instant-tea-today-and-future/>
18. Canned tea. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Canned_tea
19. Хімічний склад чаю. Режим доступу : <http://teasoul.ru/sostav/>
20. Хімічний склад чаю і його тонкощі. <https://gtea.com.ua/ua/Blog/himicheskiy-sostav-chaya>
21. Сирохман І. В., Завгородня В. М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2023. 544 с.
22. ДСТУ 4380:2005. Чай. Правила приймання та методи випробування. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
23. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 34 с.
24. Основи охорони праці та цивільного захисту : навч. посіб. / О. П. Денисенко та ін. Суми : Університетська книга, 2024. 312 с.
25. Hofmann T., Schieberle P. Chemical changes during the fermentation of tea leaves and their impact on flavor profile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024. Vol. 72, № 8. P. 1540–1552.
26. Zhang L., Ho C. T. Antioxidant properties of theaflavins and their role in human health : a review. *Food & Function*. 2023. Vol. 14, Issue 10. P. 4412–4430.

27. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
28. Павлюченко Ю. П. Автоматизація систем управління технологічними процесами харчової промисловості. Київ : Видавництво «Ліра-К», 2022. 208 с.
29. Комп'ютерно-інтегровані технології в харчовій галузі : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Мелітополь, 2024). Мелітополь : ТДАТУ, 2024. 145 с.
30. Tehranifar A. Impact of temperature and humidity control on the enzymatic oxidation of polyphenols in tea. *International Journal of Food Science & Technology*. 2025. Vol. 60, № 2. P. 210–225.
31. Наказ МОЗ України № 452 від 12.03.2024. Про затвердження показників безпечності та якості чаю та кави.
32. ДСТУ 3143-95. Чай. Чай чорний байховий нефасований. Технічні умови. Київ : Держстандарт України, 1996. 10 с.
33. Власенко В. В. Фізіологія та біохімія рослинної сировини : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2021. 290 с.
34. Application of Electronic Nose and Tongue in Tea Quality Assessment. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2024. Vol. 398. Article 134720.
35. Рыбак Н. І. Безпека праці на підприємствах харчової промисловості в умовах кризових ситуацій. *Охорона праці*. 2025. № 1. С. 12–19.
36. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 48 с.
37. Gomes S. V. Health benefits of green and black tea: an evidence-based update. *Current Opinion in Food Science*. 2024. Vol. 55. P. 101–112.
38. Державна служба статистики України. Рослинництво України : статистичний збірник. URL: <https://ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 12.02.2026).
39. НАССР: довідник для виробників харчової продукції. Видання 4-те. Київ : Аграрна освіта, 2023. 156 с.

40. Методичні вказівки до виконання магістерської роботи для студентів спеціальності 181 «Харчові технології». Мелітополь : ТДАТУ, 2024. 64 с.