

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

**Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра біотехнологій продуктів бродіння і виноробства**

«До захисту в ЕК»

Директор ННІХТ

_____ Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО

(підпис)

«__» грудня 2025 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри БПБВ

_____ Анатолій КУЦ

(підпис)

«__» грудня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
із спеціальності 181 «Харчові технології»
(шифр та назва спеціальності)**

на тему: «Дослідження способів підвищення стійкості пива»

Виконав:
Здобувач 2 курсу
Групи ТБ-2-7М

_____ (підпис)

МАСЮКЕВИЧ Дмитро Артемович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

_____ (підпис)

МУКОЇД Роман Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Рецензент

_____ (підпис)

КАРПОВИЧ Інна Віталіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

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

_____ Дмитро МАСЮКЕВИЧ
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально – науковий інститут харчових технологій

Кафедра біотехнології продуктів бродіння і виноробства

Освітній ступень – магістр

Спеціальність – 181 «Харчові технології»

Освітня програма – «Технології продуктів бродіння і виноробства»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри біотехнології
продуктів бродіння і виноробства

_____Анатолій КУЦ
28 серпня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Масюкевичу Дмитру Артемовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження способів підвищення стійкості пива»

Керівник роботи Мукоїд Роман Миколайович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 10 жовтня 2025 року № 332-КС

2. Строк подання роботи 01 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Методичні рекомендації до виконання магістерських робіт

2. Матеріали, зібрані під час переддипломної практики

3. Дослідити вплив протеолітичних ферментних препаратів на стійкість пива.

4. Скласти математичну модель прогнозування збільшення терміну придатності пива

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Титульний аркуш. Завдання на роботу. Зміст. Анотація. Вступ 1. Вплив протеолітичних ферментів на колоїдну стійкість пива 2. Об'єкти, методи та методика досліджень. 3. Підбір ферментного препарату для підвищення колоїдної стійкості пива. 4. Оптимізація технологічного процесу 5. Соціально-економічна ефективність роботи. 6. Охорона праці 7. Цивільний захист. Висновки та рекомендації. Список використаної літератури. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Таблиці з результатами досліджень – 10

Діаграми з результатами досліджень – 9

Консультанти розділів магістерської роботи

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

6. Дата видачі завдання

23 червня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний пошук та підготовка аналітичного огляду за темою дослідження	13.10.25-18.10.25	Виконано
2.	Складання планів експериментів, організація робочого місця, підбір і опанування методиками визначення показників якості та статистичної обробки отриманих результатів	19.10.25-21.10.25	Виконано
	1-а атестація	21.10.2025	Виконано
3.	Експериментальні дослідження методів визначення впливу окисних процесів на старіння та органолептичну оцінку пива	22.10.25-24.10.25	Виконано
4.	Підготовка розділу з охорони праці та погодження його з керівником	25.10.25-27.10.25	Виконано
	2-а атестація	28.10.25-29.10.25	Виконано
5.	Підготовка розділу з цивільного захисту та погодження його з керівником	29.10.25	Виконано
6.	Проведення досліджень впливу окисних процесів на пиво	30.10.25-31.10.25	Виконано
7.	Оптимізація технологічного процесу	01.11.25-04.11.25	Виконано
8.	Розрахунок соціально-економічної ефективності роботи	05.11.25-07.11.25	Виконано
9.	Оформлення пояснювальної записки і презентації роботи	08.11.25-20.11.25	Виконано
10.	Подання роботи в комісію по перевірці на антиплагіат	21.11.25-14.11.25	Виконано
11.	Попередній розгляд роботи на кафедрі	25.11.25-29.11.25	Виконано
12.	Отримання зовнішньої рецензії і підготовка до захисту в ЕК	30.11.25-10.12.25	Виконано
	Захист роботи в ЕК	Згідно графіку	

Здобувач

Дмитро МАСЮКЕВИЧ

Керівник роботи

Роман МУКОЇД

АНОТАЦІЯ

Масюкевич Дмитро Артемович «Дослідження способів підвищення стійкості пива». Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 181 «Харчові технології, освітньо-професійною програмою – «Технології продуктів бродіння і виноробства». Національний університет харчових технологій, Київ, 2025.

Кваліфікаційна робота ґрунтується на дослідженні та порівнянні впливу різних протеолітичних ферментів на стійкість пива. Результати досліджень були отримані при проведенні безпосередніх досліджень світлого солодового сусла, приготовленого у лабораторних умовах з ячмінного солоду, а також темного солодового сусла виготовленого з використанням світлого, паленого та карамельного солодів. У роботі використовували протеолітичні ферменти: Нейтраза, Протеаза, Brewers Clarex, Profix 6500.

Було проведено аналіз змін показників видимого екстракту, кислотності та вмісту спирту в пиві. Додатково проводили аналіз білкової чутливості, оцінювали стійкість пива до охолодження, визначали концентрацію поліфенолів та здійснювали прогнозування загальної колоїдної стійкості напою.

Одночасно проводилась дегустаційне оцінювання. Досліджено, що найкращого підвищення колоїдної стійкості пива можна досягти при використанні протеолітичного ферментного препарату Нейтрази у кількості 0.3 г/дм³ на етапі затирання, а також комбінації Brewers Clarex та Profix 6500 на етапі фільтрування в дозах 0,177 та 0,202 г/дал відповідно.

Ключові слова: Стійкість пива, протеолітичні ферменти, колоїдна стійкість, сусло.

ABSTRACT

Masukevich Dmitry Artemovich 'Research on ways to increase beer stability.' Qualification work for a master's degree in specialty 181 'Food Technologies', educational and professional programme – 'Fermentation and Winemaking Technologies'. National University of Food Technologies, Kyiv, 2025.

The thesis is based on the study and comparison of the effect of various proteolytic enzymes on beer stability. The results were obtained by conducting direct studies of light malt wort prepared in laboratory conditions from barley malt, as well as dark malt wort prepared using light, roasted and caramel malts. Proteolytic enzymes used: Neutrase, Protease, Brewers Clarex, Profix 6500.

An analysis was conducted of changes in the visible extract, acidity and alcohol content of beer. Additionally, an analysis of 'protein sensitivity' was performed, the stability of beer to cooling was assessed, the concentration of polyphenols was measured and the overall stability of the beverage was predicted.

At the same time, a tasting evaluation was conducted, which showed that the best improvement in the colloidal stability of beer can be achieved by using proteolytic enzyme preparations: Neutrazy in an amount of 0.3 g/dm³ at the mashing stage, as well as a combination of Brewers Clarex and Profix 6500 at the filtration stage in doses of 0.177 and 0.202 g/dl, respectively.

Keywords: Beer stability, proteolytic enzymes, colloidal stability, wort.

ZUSAMMENFASSUNG

Masjukewitsch Dmitri Artemowitsch „Untersuchung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Haltbarkeit von Bier“. Qualifikationsarbeit für den Master-Abschluss im Fachbereich 181 „Lebensmitteltechnologie“, Ausbildungs- und Berufsprogramm „Technologien der Fermentationsprodukte und Weinherstellung“. Nationale Universität für Lebensmitteltechnologie, Kiew, 2025.

Die Qualifikationsarbeit basiert auf der Untersuchung und dem Vergleich der Auswirkungen verschiedener proteolytischer Enzyme auf die Haltbarkeit von Bier. Die Forschungsergebnisse wurden bei direkten Untersuchungen von hellem Malzmost, der unter Laborbedingungen aus Gerstenmalz hergestellt wurde, sowie von dunklem Malzmost, der unter Verwendung von hellem, geröstetem und Karamellmalz hergestellt wurde, erzielt. Verwendete proteolytische Enzyme: Neutrase, Protease, Brewers Clarex, Profix 6500.

Es wurde eine Analyse der Veränderungen der Indikatoren für den sichtbaren Extrakt, den Säuregehalt und den Alkoholgehalt im Bier durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Analyse der „Proteinsensitivität“ durchgeführt, die Kältebeständigkeit des Bieres bewertet, die Konzentration der Polyphenole gemessen und eine Prognose der allgemeinen Haltbarkeit des Getränks erstellt.

Parallel dazu wurde eine Verkostungsbewertung durchgeführt, die ergab, dass die beste Verbesserung der Kolloidstabilität von Bier durch die Verwendung von proteolytischen Enzympräparaten erreicht werden kann: Neutras in einer Menge von 0,3 g/dm³ in der Maischephase sowie einer Kombination aus Brewers Clarex und Profix 6500 in der Filterphase in Dosierungen von 0,177 bzw. 0,202 g/dl.

Schlüsselwörter: Bierstabilität, proteolytische Enzyme, kolloidale Stabilität, Würze.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. СТІЙКІСТЬ ПИВА ТА ФАКТОРИ, ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	11
1.1 Поняття та класифікація стійкості пива	11
1.1.1 Фізико-хімічна стійкість пива	11
1.1.2. Колоїдна стійкість	14
1.1.3. Мікробіологічна стійкість	15
1.2 Вплив сировини на стійкість готового продукту	17
1.2.1 Зерно та солод.....	17
1.2.2 Хміль.....	20
1.2.3 Дріжджі.....	22
1.3. Характеристика ферментних препаратів	22
1.3.1 β - глюканаза	24
1.3.2 Амілаза	25
1.3.3 Протеаза.....	25
1.3.4 Додаткові ферменти, що використовуються у пивоварінні.....	26
1.4 Переваги та недоліки застосування ферментних препаратів.....	27
1.5 Висновки	27
2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	29
2.1 Матеріали досліджень.....	29
2.2 Методи досліджень	29
2.2.1 Визначення вологості світлого ячмінного солоду методом прискореного висушування.....	29
2.2.2 Визначення екстрактивності стандартним методом.....	30
2.2.3 Визначення тривалості оцукрювання.....	30
2.2.4 Визначення активної і титрованої кислотності.....	30
2.2.5 Визначення масової частки сухих речовин у пивному суслі за допомогою рефрактометра (РПЛ-3)	30
2.2.6 Визначення амінного азоту йодометричним методом за Попом і Стівенсоном	30
2.2.7 Визначення вмісту мальтози йодометричним методом.....	30
2.2.8 Визначення кольору візуальним методом колориметричним титруванням	30

					Дослідження способів підвищення стійкості пива					
Зм.	Арк.	Прізвище	Підпис	Дата	АННОТАЦІЯ					
Розробив		Масюкевич Д.А.						Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник		Мукоїд Р.М.							4	76
Консультант								7		
Консультант								Кафедра БПБВ, 2025		
Зав. каф.		Куц А.М.								

2.2.9	Аналіз масової частки спирту і дійсного екстракту. Дистиляційний метод	31
2.2.10	Визначення дійсного та видимого ступеня зброджування.....	31
2.2.11	Визначення вмісту загально-розчинного азоту	31
2.2.12	Визначення стійкості пива до охолодження (межа осадження сірчано-кислим амонієм).....	31
2.2.13	Прогнозування стійкості пива (шок-тест).....	32
2.2.14	Визначення «чутливих білків» (Sensitive Protein).....	32
2.2.15	Визначення вмісту поліфенольних речовин	33
2.3	Методика досліджень.....	33
2.4	Оброблення результатів досліджень.....	33
3	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ КОЛОЇДНОЇ СТІЙКОСТІ ПИВА.....	34
3.1	Дослідження впливу ФП Нейтрази на колоїдну стійкість пива	34
3.1.1	Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її на стадії затирання	35
3.1.2	Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її перед бродінням.....	36
3.2	Дослідження впливу ферментного препарату Протеази при внесенні її перед бродінням.....	39
3.3	Дослідження впливу ферментних препаратів Brewers Clarex та Profix при внесенні їх на стадії фільтрування	43
3.4	Визначення колоїдної стійкості	45
3.5	Висновки	45
4	ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПИВА.....	46
5.	СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	53
6	ОХОРОНА ПРАЦІ	54
6.1	Організація системи управління охороною праці на підприємстві	54
6.2	Електробезпека	55
6.3	Пожежна безпека	55
6.4	Санітарно-гігієнічні умови.....	56
6.5	Санітарні умови праці у лабораторії	56
6.6	Мікроклімат	57
6.7	Висновки та пропозиції	58
7	ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ	59
	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	62
	ЛІТЕРАТУРА	63
	Д О Д А Т К И.....	66

ВСТУП

Актуальність теми. Пиво є одним із найдавніших і найпоширеніших алкогольних напоїв у світі. У багатьох регіонах його виробництво та споживання мають велике економічне, культурне та соціальне значення. Позиція пива на ринку змушує виробників постійно шукати нові продукти, щоб зацікавити споживачів. В останні роки популярність набули багато маловідомих сортів і типів пива. Пивовари можуть використовувати спеціальні сорти солоду, різні сорти хмелю, додавати фрукти та інші рослинні компоненти (включаючи функціональні добавки), а також різні штами та види дріжджів, щоб зацікавити споживача. Традиційно пиво містить 3...6% ABV (об'ємна частка алкоголю), але на ринку можна знайти пиво з набагато вищим, а також нижчим вмістом алкоголю. Саме останній набуває популярності в останні роки. Це пов'язано, серед іншого, з зростанням усвідомлення споживачами важливості здоров'я. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають безалкогольні, деалкоголізовані та низькоалкогольні сорти пива.

Сьогодні безпека харчових продуктів – це не просто очікувана проблема, а вимога споживачів і законодавців. У цьому відношенні пиво ~~ширше~~ вважається мікробіологічно стабільним продуктом. Такі фактори, як ~~дуже~~ низький вміст кисню, низький рівень рН, наявність сполук, що походять з хмелю (таких як ізо- α -кислоти), вуглекислий газ і алкоголь, а також відсутність поживних речовин, значно обмежують ріст несприятливої мікрофлори в продукті. Процеси, яким часто піддається пиво, такі як стерилізація та пастеризація, також мають важливе значення. Це не означає, що несприятлива мікрофлора не може розвиватися у всіх видах пива, адже виживання харчових патогенів у таких умовах стає набагато складнішим.

Метою роботи є удосконалення технології пива з підвищеною стійкістю за рахунок застосування протеолітичних ферментів для підвищення його стійкості.

Завдання роботи – підбір протеолітичного ферментного препарату з метою підвищення колоїдної стійкості пива, встановлення оптимальних доз його внесення та визначення найбільш ефективної технологічної стадії для застосування препарату.

Практичне значення роботи полягає в удосконаленні технології виготовлення пива шляхом раціонального застосування ферментних препаратів, що дає змогу підвищити колоїдну та біологічну стійкість готового продукту і подовжити термін його зберігання без погіршення органолептичних показників.

Об'єкти досліджень: були, сировина, допоміжні матеріали та продукти, що беруть участь у циклі виробництва пива. Серед них: ячмінний солод, дріжджі, вода та хміль. Особлива увага приділена протеолітичним ферментним препаратам (Нейтраза, Brewers Clarex, Profix 6500). Як об'єкт аналізу використовувалися також світле та темне солодове сусло.

У суслі та пиві, до і після обробки ферментним препаратом визначався показник, що характеризує та обумовлює стійкість.

В ході досліджень встановлено, що ферментний препарат Нейтраза при використанні на стадії затирання, і комплекс протеолітичних ферментних

препаратів Brewers Clarex та Profix 6500 (на стадії фільтрування) – проявляють найкращі показники для підвищення стійкості пива.

Застосування протеолітичних ферментних препаратів дозволяє отримати пиво, стійке до колоїдних помутнень, з покращеними органолептичними характеристиками та загальною якістю продукту. Хоча фінансова вигода від використання таких препаратів обмежена через їхню високу вартість, відмова від їх застосування може призвести до випуску нестабільного пива, що підвищує ризик втрат для виробника через зниження якості та можливі рекамації.

Публікації. По темі магістерської роботи опубліковано тези на науковій конференції:

Стійкість пива: колоїдні та фізико-хімічні аспекти під час зберігання / Д. Масюкевич, Р. Мукоїд, Ю. Булій // І Ш-й Форум «Інноваційні підходи в промисловому та крафтовому виробництві: виклики та можливості» : Програма та матеріали Ш-го форуму, 16-17 жовтня 2025 р., м.Київ. – К.: НУХТ, 2025р. – С. 109 – 111.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з 7 розділів, висновків, списку використаної літератури. Робота виконана на 80 сторінках друкованого тексту, ілюстрована таблицями і рисунками.

1. СТІЙКІСТЬ ПИВА ТА ФАКТОРИ, ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ (аналітичний огляд літератури)

Ферментовані напої, зокрема пиво, мають здатність зберігати свої властивості протягом тривалого часу. Однак зберігання супроводжується низкою фізико-хімічних і біохімічних процесів, які призводять до погіршення якості продукту. Внаслідок цього відбуваються зміни органолептичних характеристик пива — смаку, аромату, а також знижується його колоїдна стабільність.

Інтенсивність змін, що відбуваються під час зберігання пива, визначається його сортовими особливостями, тривалістю та умовами зберігання. У деяких випадках незначне старіння може позитивно впливати на сенсорні властивості напою, надаючи йому м'якшого смаку або більш гармонійного аромату. Однак надмірне старіння, або так званий «застій» пива, розглядається як суттєва проблема для пивоварної промисловості. Згідно з сучасними уявленнями, основною причиною цього явища є накопичення альдегідів, утворення яких призводить до появи сторонніх присмаків і зниження загальної якості продукту.

Під час зберігання пива сполуки, що формують його характерний смак і аромат, зокрема ефіри, терпени та ізо- α -кислоти, зазнають як якісних, так і кількісних змін. Унаслідок цього з часом знижується інтенсивність приємних ароматичних характеристик, таких як свіжість, фруктові чи квіткові ноти. Натомість у букеті пива починають переважати сторонні тони, що описуються як смородинові, картонні, хлібні, медові або хересні, які свідчать про процеси старіння продукту [10].

1.1 Поняття та класифікація стійкості пива

1.1.1 Фізико-хімічна стійкість пива

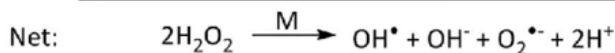
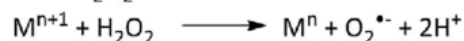
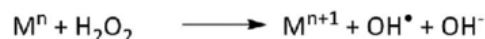
Фізико-хімічна стійкість пива - це здатність напою зберігати свої хімічні показники та фізико-хімічні властивості (склад, окисно-відновний стан, концентрації ключових смако-ароматичних компонентів, рН, прозорість тощо) у межах, що забезпечують прийнятну органолептичну якість протягом встановленого терміну зберігання. Цей аспект стійкості охоплює сукупність процесів хімічної й фотохімічної деградації, окиснення, взаємодій між компонентами матриці пива (передусім між білками та поліфенолами), а також змін летких ароматичних сполук, що разом визначають, наскільки довго пиво залишатиметься «свіжим» для споживача.

У центрі фізико-хімічних змін стоїть процес окиснення. Кисень, потрапивши в пиво під час технологічних операцій або через проникність упаковки, ініціює ланцюгові реакції, які приводять до трансформації ароматичних ефірів, деградації ізо- α -кислот, утворення альдегідів (зокрема трансізомерів та похідних, що дають картонні/паперові ноти), а також до змін в піноутворюванні [7].

Окиснення поліфенолів і взаємодія поліфенолів із білками часто лежать в основі формування колоїдної нестабільності — утворення нерозчинних комплексів, що випадають в осад або дають помутніння при охолодженні. З іншого боку, частина трансформацій може підвищувати інтенсивність певних

смакових тонів у короткостроковій перспективі, але загалом накопичення продуктів окиснення погіршує смакові характеристики [12].

Fenton reaction:



Haber-Weiss reaction:

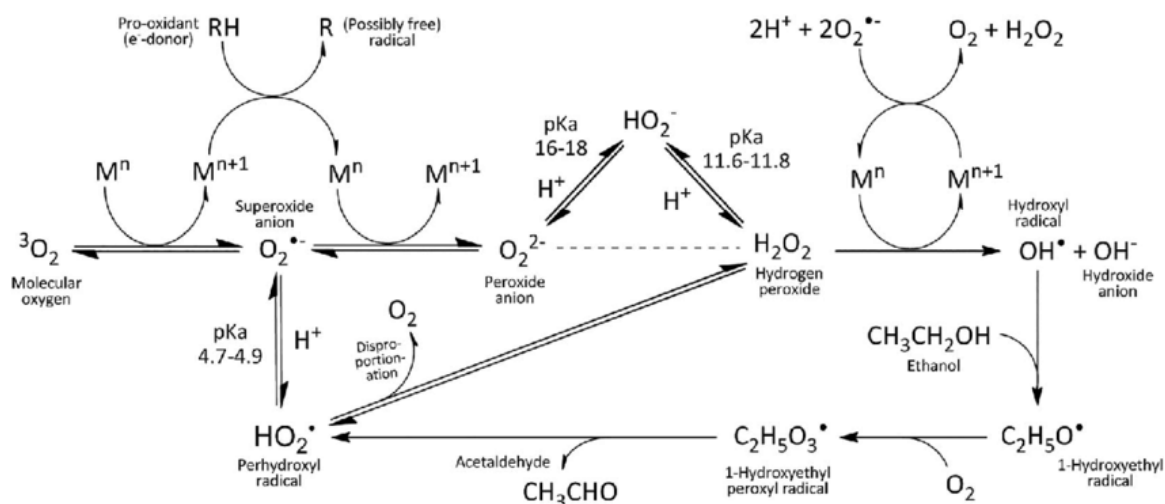
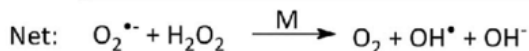
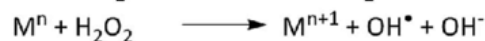


Рисунок 1.1 — Механізм утворення активних форм кисню в пиві (реакції окиснення).

Другим важливим механізмом є хімічна деградація летких сполук, що відповідають за свіжі фруктові та квіткові ноти — ефірів і терпеноїдів, головним чином походження хмелю та продукції дріжджового метаболізму. Поступове гідролітичне й окисне розщеплення ефірів призводить до втрати фруктових нот; натомість з'являються вторинні продукти, які описують як хлібні, медові або хересні аромати. Температура зберігання значно каталізує ці процеси: підвищення температури швидко прискорює утворення небажаних сполук і тимчасову деградацію смако-ароматичного профілю[2].

Роль рН і іонного середовища також важлива. Невеликі зміни рН можуть змінювати розчинність білків і поліфенолів, впливати на іонний стан кислот і, як наслідок, на утворення колоїдних комплексів. Метали-каталізатори (залізо, мідь) прискорюють окиснювальні перетворення; тому контроль мінерального складу води й уникнення контакту з кородуючими матеріалами — важливі заходи для підвищення фізико-хімічної стійкості [16].

Особливе місце займає взаємодія білків і поліфенолів, що визначає колоїдну стабільність. Пивні білки, зокрема низькомолекулярні фракції, можуть

утворювати нерозчинні комплекси з поліфенолами під впливом тепла або при зміні умов зберігання, проявляючи помутніння, що стає помітним при охолодженні. Цей тип нестабільності називають холодним помутнінням; він має прямий економічний вплив, оскільки погіршує товарний вигляд напою. Тому у виробництві застосовують технологічні підходи — ферментну обробку, використання адсорбентів (PVPP, силікагель), належну фільтрацію та стабілізацію, які знижують вміст поліфенолів чи білків-«проблемників» [8].

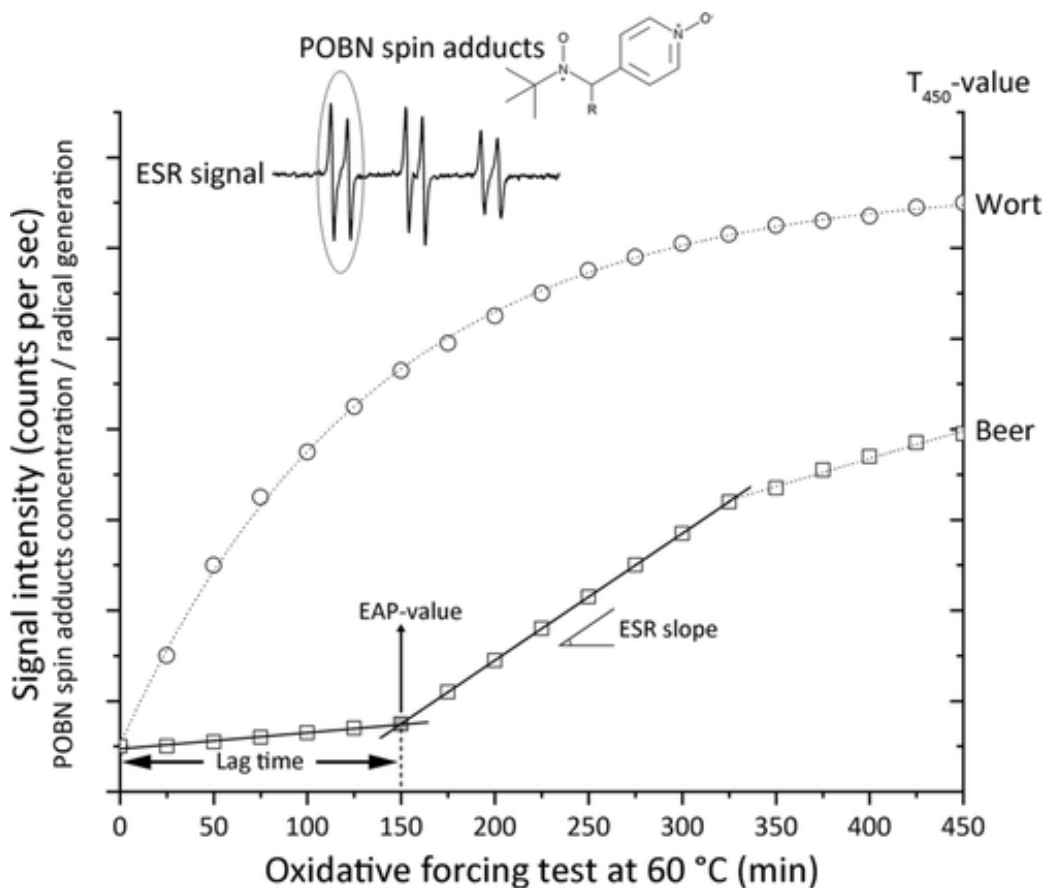


Рисунок 1.2 — Взаємодія білків і поліфенолів, формування колоїдної нестабільності (холодного помутніння).

Не менш важливим є збереження ізо- α -кислот, які забезпечують гіркоту та мають антимікробні й антиоксидантні властивості. Переважна частина ізо- α -кислот зменшується внаслідок окиснення й ізомеризації в неактивні похідні, що не тільки знижує гіркоту, а й ослаблює природний антиоксидантний захист пива. Технологічні методи, що мінімізують окиснення під час кип'ятіння й охолодження, а також адекватне управління дозуванням хмелю й способом охмелення, допомагають зберегти ці сполуки [9].

Фотохімічні процеси також впливають на фізико-хімічну стійкість: під дією світла (особливо ультрафіолетової і синьої складової) у пиві можуть утворюватися леткі сульфідні й інші сполуки, що викликають «світловий» запах (skunky off-flavor). Тому вибір непрозорої упаковки або затемнення пляшок є простим, але ефективним заходом захисту.

У результаті, заходи для підвищення фізико-хімічної стійкості потребують комплексного підходу: оптимізації технологічних процесів (зокрема контроль доступу кисню, видалення каталізаторів окиснення, температурні режими), підбору сировинних компонентів (солод, хміль з відповідним вмістом поліфенолів та білків), застосування технік колоїдної стабілізації (адсорбенти, холодова стабілізація, фільтрація), а також контролю умов пакування і зберігання (бар'єрність тари, температурний режим, обмеження проникності кисню). Тільки за такої комплексної стратегії фізико-хімічна стійкість пива може бути суттєво покращена без значних втрат бажаних органолептичних характеристик.

1.1.2. Колоїдна стійкість

Колоїдна стійкість пива визначається як здатність напою зберігати прозорість і запобігати утворенню осаду або помутніння під час зберігання та споживання. Вона є однією з ключових характеристик якості, адже зовнішній вигляд пива безпосередньо впливає на його сприйняття споживачем. Помутніння пива, особливо у світлих сортах, вважається дефектом, навіть якщо смакові та ароматичні показники залишаються на належному рівні [13].

Колоїдне помутніння пива зазвичай поділяють на два основні типи: холодове помутніння (*chill-haze*) і постійне помутніння (*permanent haze*). Холодове помутніння проявляється при зниженні температури до 0–5 °С і часто зникає при поверненні пива до кімнатної температури. Постійне помутніння, навпаки, є незворотнім і свідчить про стабільні хімічні зміни, що відбулися в білково-поліфенольних комплексах [8].

Головним механізмом утворення помутніння є взаємодія білків і поліфенолів. Пивні білки, особливо багаті на пролін, а також низькомолекулярні білки, що залишаються після ферментації, здатні утворювати комплексні структури з поліфенолами, які згодом агрегують і стають нерозчинними. Ці агрегати випадають в осад або формують видиме помутніння. Інтенсивність цих процесів залежить від молекулярної маси поліфенолів, їх окисного стану, а також від складу білкових фракцій [6].

На формування колоїдної нестабільності впливає сировинна база пива. Вміст і тип білків і поліфенолів залежать від сорту ячменю, умов солодження, способу затирання та кип'ятіння суслу. Наприклад, високий вміст танінів і хмелю з великою кількістю поліфенолів може підвищити ймовірність утворення холодового помутніння, якщо не застосовані відповідні стабілізаційні технології. Використання несоложеного зерна, добавок із високим вмістом білка чи крохмалю також впливає на колоїдну стійкість.

Не менш важливим є вплив технологічних параметрів. Температура затирання, режим кип'ятіння, спосіб охмелення, фільтрація та обробка суслу визначають кількість залишкових білків і поліфенолів. Наприклад, надмірне кип'ятіння може призвести до денатурації білків і підвищити ризик формування агрегатів, які пізніше утворюють помутніння. Контроль над кількістю кисню на різних етапах виробництва також критично важливий, оскільки окиснення поліфенолів підсилює їх здатність до комплексоутворення з білками.

Хімічні фактори, такі як рН і іонний склад води, також мають значення. Оптимальний рівень рН пива для мінімізації помутніння становить 4,2–4,5. При цьому підвищення або зниження рН може активувати білково-поліфенольні взаємодії, підвищуючи ризик утворення холодового або постійного помутніння. Metали-каталізатори окиснення, такі як залізо або мідь, додатково прискорюють агрегацію білково-поліфенольних комплексів [23].

Для підвищення колоїдної стійкості застосовують комплекс заходів:

1. Стабілізація сировини: відбір сортів ячменю з низьким вмістом haze-active білків, контроль кількості поліфенолів у солоді та хмелі.
2. Технологічна обробка: ферментні препарати (протеази) для розщеплення НА-білків; адсорбенти, такі як PVPP і силікагель, для видалення надлишку поліфенолів і білків; оптимальна фільтрація та холодова стабілізація [13]
3. Контроль процесів: оптимізація температурного режиму під час затирання, кип'ятіння і охолодження; мінімізація доступу кисню; контроль рН.
4. Упаковка та зберігання: використання непрозорої тари, підтримка рекомендованих температур, обмеження світлового впливу і кисню в упаковці [6]

Таким чином, колоїдна стійкість пива є критичним показником його якості, який визначає товарний вигляд і тривалість зберігання без втрати естетичних властивостей. Комплексний контроль сировини, технологічних процесів і умов зберігання дозволяє значно знизити ризик холодового та постійного помутніння і забезпечити споживачу прозорий, привабливий напій, зберігаючи його органолептичні характеристики.

1.1.3. Мікробіологічна стійкість

Мікробіологічна стійкість пива означає його здатність протистояти росту, або мати такий хімічний та фізико-хімічний стан, при якому мікроорганізми не можуть розмножуватись і викликати зміну якості продукту протягом терміну зберігання. У виробництві пива це означає, що напій залишається безпечним і зберігає свої органолептичні властивості — без сторонніх запахів, скисання, газоутворення, мутнів чи небажаних мікробних метаболітів — до кінцевого споживання.

Хоча пиво традиційно вважається мікробіологічно стабільним продуктом (завдяки високому вмісту етанолу, CO₂, низькому рН, гірким хмелевим компонентам, обмеженому живильному середовищу)[1], виробники стикаються із зростаючими ризиками мікробного псування — особливо у випадках «свіжих», нефільтрованих або слабоалкогольних/безалкогольних варіантів пива [22].

Основні чинники, що визначають мікробіологічну стійкість. Нижче наведено ключові параметри, які роблять пиво несприятливим середовищем для росту більшості мікроорганізмів, і водночас — ті умови, при яких стійкість знижується.

- ✓ Етанол. Вміст етанолу у пиві (як правило 4-6 % або більше) створює токсичне середовище для багатьох бактерій і дріжджів.

- ✓ Вуглекислий газ (CO₂). Розчинений CO₂ створює анаеробні або обмежені умови для росту аеробних мікроорганізмів.
- ✓ Низький рН. Значення рН приблизно 3,8-4,7 перешкоджає росту багатьох бактерій.
- ✓ Ізо-α-кислоти хмелю. Ці гіркі сполуки мають антимікробну дію, підвищуючи проникність клітинних мембран бактерій.
- ✓ Обмежена поживність. У пиві після бродіння залишаються низькі концентрації простих цукрів, амінокислот, що обмежує ріст мікроорганізмів.
- ✓ Контрольований доступ кисню. Мікроорганізми, особливо аеробні, несприятливо сприймають низький вміст кисню в пакованому пиві[1].

Проте коли будь-який з цих параметрів порушується (наприклад, низький вміст етанолу, підвищена кількість залишкового цукру, підвищений доступ кисню, відсутність пастеризації або фільтрації), ризик мікробіологічного псування зростає. Наприклад, сучасні стилі крафтового пива, нефільтровані чи слабоалкогольні/безалкогольні варіанти — більш уразливі [22].

Мікроорганізми-збудники псування пива. Серед найбільш поширених мікроорганізмів, що здатні псувати пиво, виділяють:

- ✓ Лакто-кислі бактерії (LAB) — напр., *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus damnosus*. Вони можуть рости в умовах низького рН та контакту з гіркими хмелевими кислотами, продукувати біогенні аміни, леткі кислоти, змінювати смаковий профіль[4].
- ✓ Анаеробні грам-негативні бактерії, напр., *Pectinatus* spp., *Megasphaera* spp. — виникають у несприятливих умовах, провокують утворення запахів сірководню, сірчаних сполук [17].
- ✓ Дикі дріжджі та дріжджоподібні — наприклад, *Staphylococcus xylosus* (у крафтовому пиві була виявлена як здатна до псування) [4].

Ці збудники можуть викликати не лише смакові дефекти чи мутніння, але й підвищення тиску в пакуванні, газоутворення, осад тощо — що безпосередньо впливає на якість продукту та безпеку.

Фактори, що послаблюють мікробіологічну стійкість. Слабоалкогольне або безалкогольне пиво (низький етанол) має слабший бар'єр проти росту мікроорганізмів [18].

- ✓ нефільтроване, непастеризоване пиво — може містити виживші дріжджі чи бактерії. Без відповідної обробки ризик збільшується[19].
- ✓ порушення санітарії, забруднення обладнання, неякісна пакувальна лінія, контакт із повітрям чи мікроорганізмами після виробництва [15].
- ✓ додавання нетрадиційних інгредієнтів (фрукти, овочі, содравні адитиви) або технологій, які відкривають шлях для росту мікроорганізмів [22].

Стратегії забезпечення мікробіологічної стійкості

- ✓ надійна стерилізація, санітарна обробка обладнання, контроль виробничих ліній [15].
- ✓ фільтрація і/або пастеризація готового пива — наприклад, мікрофільтрація мембранами (0,2-1,3 μm) для видалення дріжджів та бактерій; пастеризація

(вимірюється у пастеризаційних одиницях, PU) для знищення мікроорганізмів [19].

- ✓ контроль параметрів пива: забезпечення достатнього вмісту етанолу, гірких хмелевих кислот, низького рН, обмеження залишкових цукрів та доступу кисню [1].
- ✓ для нефільтрованих чи крафтових напоїв: холодова ланцюгова зберігання (нижча температура), наповнення з мінімальним доступом кисню у тару [11].

Таким чином, мікробіологічна стійкість пива — це фундаментальний аспект гарантованої якості й безпеки напою. Забезпечення цієї стійкості вимагає комплексного підходу: від вибору сировини (і її мікробіологічного стану), до строгого контролю технологічних процесів (фільтрація, пастеризація, санітарія, пакування) і умов зберігання. Без гарантії мікробіологічної стійкості навіть пиво з добрим смаком і ароматом може швидко стати непридатним чи небезпечним для споживання.

1.2 Вплив сировини на стійкість готового продукту

Стійкість пива визначається не лише технологічними процесами його виробництва, але й якістю та характеристиками основних сировинних компонентів — солоду, хмелю, води та дріжджів. Саме їхній склад, чистота і взаємодія між компонентами формують хімічну, колоїдну, мікробіологічну та смакову стабільність готового продукту. Кожен із цих елементів має свій внесок у кінцеву стійкість напою, впливаючи на здатність пива зберігати свій аромат, смак, колір та прозорість протягом тривалого часу.

1.2.1 Зерно та солод

Ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) є основною зерновою культурою, що найчастіше використовується у пивоварінні. Його ендосперм становить головну частину зерна та переважно складається з крохмальних гранул (приблизно 62,7 % маси зерна), занурених у білкову матрицю. Водночас у пивоварному виробництві можуть застосовуватися й інші злаки — пшениця, жито, овес, тритикале, сорго, кукурудза тощо. Використання цих альтернативних культур можливе, проте воно здатне впливати на сенсорні характеристики готового напою, змінюючи його аромат, смак і текстуру.

Дійсно, використання інших зернових культур у пивоварінні може надати пиву нових смакових і ароматичних характеристик, розширюючи його органолептичний профіль. Проте впровадження злаків, які не містять достатньої кількості природних ферментів, часто супроводжується певними технологічними труднощами. Зокрема, це може ускладнювати процеси фільтрації суслу та готового пива, знижувати вихід екстракту, а також ускладнювати контроль та масштабування виробництва.

Показовим прикладом є пшеничне пиво, яке має давні традиції споживання у Баварії та Австрії. Для нього характерні виразні аромати гвоздики, банана,

ванілі та свіжих фруктів, що формуються внаслідок особливостей сировини та специфічних умов бродіння.

Пиво, зварене на основі сорго, відзначається особливо ніжним і м'яким смаком, що робить його одним із найвитонченіших сортів за сенсорними характеристиками. У ході досліджень, де використовувалися різні пропорції сорго, було встановлено, що такі зразки пива характеризуються нижчим вмістом ацетальдегіду та ефірів, але водночас — вищим рівнем вищих спиртів, що може впливати на аромат і повноту смаку [24].

Ті ж автори зазначають, що пиво, до складу якого входило 30–40% вівса, вирізнялося чистішим ароматом і м'якшим смаком, порівняно з традиційним 100% ячмінним пивом. Такі зразки мали менше лактонів, але вищий вміст алкоголю та ефірних сполук, які формують складні фруктові та квіткові ноти.

Інші наукові роботи підтверджують, що використання несолоджених зернових добавок (зокрема кукурудзи, рису, вівса або сорго) у кількості до 40–60% від маси ячмінного солоду дозволяє отримати пиво з органолептичними властивостями, подібними до традиційного солодового напою. Такий підхід відкриває можливості для створення нових сортів із варіативним смаковим профілем, одночасно знижуючи собівартість виробництва та покращуючи стабільність готового продукту.

Таким чином, якість зерна ячменю, що використовується як сировина, є ще одним дуже важливим фактором, і він значною мірою залежить від агрономічних прийомів, а також від генетичних та екологічних змінних. Крім того, від зерна вимагається достатня пухкість і вага зерна, високий потенціал схожості ($\geq 95\%$) і відповідний вміст білка. У зв'язку з цим вміст білка в ячмені повинен бути нижче 11%, інакше білки, розчинні в суслі, можуть надати неприємний присмак кінцевому продукту. Крім того, висока концентрація білка традиційно корелює з низьким рівнем вуглеводів і нижчим виходом екстракту. Якість ячменю також може бути змінена мікробними інфекціями, оскільки гриби є найбільш часто зустрічаються мікроорганізмами. Вони можуть інфікувати ячмінь під час перебування на полях, особливо під час його вологого вегетаційного періоду, тоді як вони можуть заразити ячмінь або солод під час зберігання у вологих умовах.

Доведено, що забруднення солоду *Aspergillus fumigatus* є причиною помітного прогірклого смаку пива. Ріст грибків на солоді також негативно впливає на якість пивної піни через вироблені β -глюканази та ксиланази, які знижують в'язкість сусла. Ці та інші негативні аспекти грибків, які можуть рости на ячмені, становлять небезпеку для органолептичних властивостей пива, що може призвести до відторгнення споживачів. Ячмінь також є транспортним засобом для різноманітних забруднюючих мікроорганізмів, крім грибків або плісняви, і які можуть негативно вплинути на проростання ячменю до солодження. Бактерії *Clostridium* і *Bacillus*, які зазвичай пов'язані з виробництвом масляної кислоти і сульфідів, є одними з цих інших забруднюючих організмів. Слід уникати надмірного рівня вологості після завершення процесу сушіння або обсмажування солоду, якщо потрібно запобігти

появі певних забруднювачів ячменю. Іншими словами, належне зберігання та процедури консервації ячменю та солодового ячменю є вирішальними факторами.

Ячмінь піддають солодженню з метою розчинення білків і розщеплення крохмалю на ферментовані цукри. Специфічні процедури солодження також надають пиву характерні кольори та смаки. У процесі солодження зерна зазнають хімічних і структурних змін, в результаті яких утворюється ряд прекурсорів, які будуть визначати органолептичні властивості кінцевого пива, включаючи його колір, аромат і смак.

Пророщування закінчують просушуванням зерен (вологість до 3-4%) шляхом поступового підвищення температури від 50 до приблизно 85 ° C і більше (сушіння). Процес сушіння має вирішальний вплив на колір і смак пива, головним чином в результаті реакції Майяра, в результаті якої утворюються мальтоксазин, мальтол, ізомальтол і етилмальтол, а також інші речовини, відповідальні за смак, схожий на карамель, хліб або солодку вату в пиві. Таким чином, за допомогою контролю температури можна налаштувати реакцію Майяра для визначення утворення кольору та отримання різних типів солоду (базовий, карамельний, спеціальний, бурштиновий, шоколадний або чорний), що призведе до варіацій сполук, відповідальних за смак суслу та за різні органолептичні профілі кінцевих сортів пива. Слід також зазначити, що меланоїдини, що утворюються в результаті реакцій Майяра, можуть сприяти зростанню деяких небажаних мікроорганізмів. Фактично, меланоїдини використовувалися як протимікробні засоби проти різних штамів патогенних бактерій. Крім меланоїдів, доведено, що деякі солодові алкалоїди, головним чином гордини, впливають на смак пива, збільшуючи його терпкість.

З метою зменшення вуглецевого сліду, пов'язаного з виробництвом солоду, та враховуючи велику потребу в енергії процесів сушіння, деякі нещодавні дослідження були зосереджені на використанні невисушеного пророщеного (зеленого) солоду. Незважаючи на необхідність подальших досліджень, пиво, яке вже було отримано за допомогою цієї методології, представило прийнятні специфікації щодо кольору, рН, вмісту алкоголю та стабільності піни.

В даний час пивовари можуть використовувати базові солоди (наприклад, пльзень і пейл), спеціальні солоди та смажені солоди для виробництва пива з різними смаками. Пиво з унікальним смаком і кольором було отримано зі спеціальних солодів, таких як Crystal malt (також відомий як карамельний солод), Brown malt, Cara malt або Black malt, серед інших. Під час операцій обсмажування при використанні цих одиничних солодів можуть утворюватися деякі сполуки, такі як мальтол та ізомальтол, що призводить до солодкого аромату кінцевого пива. Ці солоди не тільки додають колір, смак та антиоксидантну активність суслу та пиву, але й впливають на перебіг бродіння суслу та вироблення смако-активних метаболітів дріжджів, таких як вікінальні дикетони або ефіри. Темні солоди можуть покращити стабільність піни та відчуття в роті пива, ймовірно, через наявність меланоїдинів.

Інший аспект, який слід враховувати щодо солоду, полягає в тому, що деякі молочні бактерії можуть бути додані в певних випадках під час процесів солодження та затирання, оскільки вони конкурують з природною мікрофлорою, тим самим обмежуючи ріст певних шкідливих мікроорганізмів, таких як грибки або бактерії. Їх консерваційні якості пов'язані з отриманням деяких органічних кислот, таких як молочна або оцтова кислоти, разом з перекисом водню і бактеріоцинами. Крім того, біопідкислення збільшує вихід солоду та покращує якість солоду за рахунок зниження його в'язкості та скорочення часу, необхідного для фільтрації та фільтрації суслу. Також було продемонстровано, що він покращує сенсорну якість і стабільність пива. Молочнокислі бактерії також продукують інші органолептично активні сполуки, крім молочної кислоти, включаючи органічні кислоти та ефіри, такі як етилацетат, альдегіди, вищі спирти, кетони, фенольні або гетероциклічні сполуки тощо [23].

1.2.2 Хміль

У лупулінових залозах жіночих квіток хмелю можна знайти смоли та ефірні олії, які навіть при використанні в невеликих кількостях сприяють виникненню гіркоти та аромату (сенсорно характеризується такими дескрипторами, як «фруктовий», «квітковий», «пряний», «трав'яний» або «деревний»). Фактично, хміль є основним інгредієнтом, відповідальним за гіркоту пива, через його внесок у поліфеноли та α -кислоти. Хміль містить складну суміш летких сполук (ефірних олій), серед яких особливе значення мають ліналоол, гераніол і 4-метил-4-сульфанілпентан-2-он.

Сорти хмелю можна класифікувати як ароматичний хміль, хміль подвійного призначення (ароматний і гіркий) і гіркий хміль (дуже гіркий). Saaz та решта «благородного хмелю» — Hallertauer Mittelfrüh, Tettnang та Spalt — належать до першої категорії та традиційно використовуються для пільзнерів та лагерів, що виробляються в регіонах Баварії та Богемії. Інший ароматичний хміль Saaz, Styrian Goldings, часто віддають перевагу елям у бельгійському стилі. Гіркий (з високим вмістом α кислоти) або хміль подвійного призначення.

При уварюванні суслу гумулони (α -кислоти), що містяться в м'яких смолах хмелю, ізомеризуються в ізогумулони, які є основними компонентами, відповідальними за гіркоту пива. Також нещодавно було помічено, що окислені форми гумулонів, гумулінонів, які присутні в пиві з сухим охмеленням і хмелем, також можуть сприяти виникненню гіркоти пива.

Під час кип'ятіння суслу більшість летких речовин, отриманих з хмелю, втрачається через випаровування. Таким чином, шляхом пізнього додавання кількох дозувань ми можемо отримати пиво з ароматом хмелю, але без зайвої хмелевої гіркоти. Так, для менш гіркого пива хміль можна додавати ближче до кінця стадії кипіння суслу, або у вир (пізнє охмелення), або до зеленого та яскравого пива (сухе охмелення).

Сухе охмеління полягає в холодному екстракції летких і нелетких сполук хмелю. Цей прийом широко використовується пивоварами для підвищення аромату і стабільності смаку пива. На відміну від уварювання, сухе охмеління не

дозволяє забезпечити термічну ізомеризацію α -кислот в ізо- α -кислоти, що робить пиво більш схильним до мікробної нестабільності. Нещодавні дослідження небезпеки мікробного забруднення, пов'язаної з методами сухого охмелення, виявили споруутворюючі бактерії, такі як *Bacillus* spp., а також *Enterobacteriaceae*, дріжджі та гриби. Існують також докази того, що амілолітичні ферменти, присутні в хмелі, можуть біохімічно модифікувати пиво з сухим охмеленням, що може призвести до деградації декстринів з довгим ланцюгом, що не ферментується, до зброджуваних цукрів. Це збільшення зброджуваних цукрів може в присутності дріжджів викликати повільне вторинне бродіння, яке називають «повзучістю хмелю». «Повзучість хмелю» є проблемою для пивоварів, оскільки вона змінює питому щільність, смаковий профіль і вміст алкоголю в пиві. Bruner et al. виявили, що повзучість хмелю призводила до збільшення алкоголю на 1,06% (об/об) у світлому пиві з сухим охмеленням і на 0,88% (об/об) у елю протягом 30-денних періодів.

Пивний аромат також можна модифікувати додаванням чистого ароматичного екстракту хмелю. Крім того, було продемонстровано, що додавання екстрактів хмелю до пива покращує відчуття та ситість у роті, одночасно збільшуючи гірке сприйняття пива. Екстракти хмелю також зазвичай додають для додаткової гіркоти та отримання більшого вмісту ароматичних сполук на різних етапах процесу пивоваріння.

У той час як хмелеві олії сприяють смаку пива, біотрансформація його глікозидів не тільки додає нові смаки до кінцевого пива, але й відіграє значну роль у стабільності смаку пива.

Тип і відносні пропорції молекул, що містяться в хмелі (гіркі кислоти хмелю, фенольні кислоти, поліфенольні сполуки або леткі сполуки) будуть варіюватися в залежності від сорту хмелю. Отже, знову ж таки, генетика відіграє важливу роль у процесі та визначає результуючі сенсорні характеристики, особливо щодо гіркоти та аромату кінцевого пива. Разом з генетикою, рівень зрілості хмелю також визначатиме тип внеску, який він робить у певний смак або аромат. У хмелі також є нелеткі сполуки, включаючи карбонові кислоти, смоли, амінокислоти, вуглеводи та поліфеноли, які, як відомо, впливають на смакові та смакові характеристики пива. Що стосується поліфенольної фракції, то найважливішими групами низькомолекулярних поліфенолів, присутніх у хмелі, зазвичай є гідроксibenзойні кислоти, гідроксикоричні кислоти, проантоціанідини, мономерні флаваноли, вільні флаваноли, кверцетин, кемпферол і ксантогумол.

Склад поліфенолів у пиві, знову ж таки, значною мірою визначається сортом хмелю, який використовується для пивоваріння. Крім того, їх концентрація, а також вміст ізо- α -кислот у суслі також змінюється залежно від температури кипіння хмелю, часу кипіння та часу охмеління. Ці ізо- α -кислоти виявляють антимікробну активність, що означає, що вони можуть пригнічувати ріст деяких забруднюючих мікроорганізмів, які псують смак пива, діючи, таким чином, як консерванти. Насправді, найпоширенішими мікробами, відповідальними за псування пива, є грам-позитивні бактерії, які насправді

можуть бути пригнічені хмелем. Однак хміль не має здатності пригнічувати ріст грамнегативних бактерій, таких як *Pectinatus frisingensis*, *Pectinatus cerevisiiphilus* або *Megasphaera cerevisiae* [25].

1.2.3 Дріжджі

Дріжджі — це, як правило, одноклітинні еукаріотичні організми, що належать до царства грибів і, на відміну від рослинних клітин, не потребують сонячного світла для метаболізму. Вони відповідають за анаеробні процеси ферментації, що перетворюють цукри на алкоголь і вуглекислий газ. Для пивоваріння традиційно використовуються два види дріжджів: *Saccharomyces cerevisiae* (ферментація елю) та *Saccharomyces pastorianus* (ферментація лагера), які, крім здійснення ферментації, сприяють формуванню органолептичних характеристик кожного виду пива за допомогою інших побічних продуктів (таких як ефіри, лактони, тіоли або фенольні сполуки). Окрім надання органолептичних властивостей, дріжджі беруть участь у ряді процесів, які можуть мати вирішальне значення для якості кінцевого продукту, таких як прозорість пива та стабільність його піни.

Оскільки кожен штам дріжджів надає кінцевому продукту ряд особливих характеристик, вибір штаму дріжджів є вирішальним аспектом при визначенні типу пива, яке буде отримано в результаті всього процесу. Однак, так само як кожен штам вносить свої «позитивні» характеристики в кінцевий продукт, він також може додавати свої небажані властивості (технічні труднощі, каламутність, нестабільна піна, органолептичні недоліки тощо).

Отже, ідеальна процедура дозволила б нам вибрати з кожного штаму ті ознаки, які ми вважаємо цікавими, або ж відкинути ті, що є менш бажаними, щоб «створити» новий штам із конкретними якостями, які найкраще відповідають кінцевому продукту, який ми намагаємося отримати. З огляду на це, в останні роки з'явилися різні підходи до фенотипної модифікації дріжджів, що використовуються у виробництві пива [14].

1.3. Характеристика ферментних препаратів

Використання ферментів є одним з основних стовпів пивоварної промисловості, і незалежно від того, чи є фермент ендогенним в самій зернині або додається з зовнішніх джерел, глибоке розуміння і дослідження цих ферментів є обов'язковим для забезпечення кращого виробництва і вищої якості. Метою цього огляду є пояснення процесу пивоваріння та обговорення різних ферментів, що використовуються в пивоварній промисловості, з описом механізму їх дії [3].

Ферменти, що використовуються в пивоварній промисловості, мають різноманітну дію та властивості. Основні ферменти, що використовуються в пивоварній промисловості, можна розділити на чотири основні процеси: проростання, затирання, бродіння та освітлення. Процес пивоваріння вимагав глибоких знань в області ензимології, оскільки кожен фермент має свою температурну точку, при якій він може бути активним, коли середовище

знаходиться далеко від цієї точки. Чотири найпоширеніші ферменти, що використовуються у пивоварінні, — це бета-глюканаза, протеаза, альфа-амілаза та бета-амілаза. Ферменти можуть бути ендогенними або зовнішніми (комерційними). Комерційні ферменти можуть використовуватися для поліпшення таких якостей, як прозорість, колір, текстура або смак, і іноді обов'язково потрібно використовувати ферменти із зовнішнього джерела під час затирання ячменю [4].

Таблиця 1.3. – Ферменти, що застосовуються у пивоварінні та їхній ефект

Ферменти	Джерела	Виробничий процес	Функція
α -амілаза	Ендогенний в зерні ячменю. <i>Bacillus licheniformis</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Солодорощення Затирання	Гідроліз крохмалю Поліпшення очищення
β -амілаза	Ендогенний в зерні ячменю. Зерно пшениці <i>Bacillus licheniformis</i>	Солодорощення Затирання	Гідроліз крохмалю Поліпшення солодорощення Поліпшення сахарифікації Високий кінцевий ступінь зброджування
β - глюканаза	Ендогенний в зерні ячменю. <i>Trichoderma</i> sp. <i>Orpinomyces</i> sp.	Солодорощення Затирання Ферментація	Покращення солодження Зниження в'язкості Покращення очищення Сприяння виробництву прозорого сусла
Грибкова α -амілаза	<i>Aspergillus</i> sp	Ферментація	Високий кінцевий ступінь зброджування

Протеаза	Ендогенний в зерні ячменю. <i>Aperguillus</i> sp. Латекс ананаса	Солодорощення Затирання Зберігання	Поліпшення солодження Поліпшення бродіння Поліпшення освітлення Поліпшення охолодження та якості зберігання
α -ацетолактат-декарбоксилаза (ALDC)	Рекомбінантний <i>Bacillus subtilis</i>	Ферментація	Скоротити час бродіння
Амілоглюкозидаза	<i>Aspergillus niger</i>	Затирання	Збільшити кількість глюкози в суслі

1.3.1 β - глюканаза

Бета-глюканаза є одним з важливих ферментів у технологічному процесі пивоваріння, особливо під час процесів солодження та затирання [3]. Ферменти целюлази є першою лінією дії проти крохмальних гранул, оскільки під час етапу желатинізації вони перетравлюють зовнішній шар крохмальних гранул, а під дією гарячої води крохмальні гранули розкриваються, дозволяючи внутрішньому крохмалю стати оптимальним субстратом для дії інших гідролізуючих ферментів. β -глюканаза, як правило, гідролізує 1-3 β -глікозидні зв'язки між молекулами глюкози в глюканах (полісахариди, що складаються з молекул D-глюкози). Ця реакція є бажаною при варінні пива, оскільки вона знижує в'язкість суслу і сприяє гідролізу матриксу крохмальних гранул протеазами, щоб зробити зерно м'яким під час проростання.

Зазвичай β -глюканаза міститься в ячмені і називається ендо-b1, 3-1, 4-глюканазами, проте останнім часом комерційна β -глюканаза з мікроорганізмів використовується для стандартного виробництва світлого пива (з меншим вмістом вуглеводів) та скорочення часу дозрівання, на додаток до її оригінальних функцій у солодінні та затиранні фільтрів для поліпшення текстури та якості світлого пива.

Хоча мутність пива може бути бажаною для деяких сортів пива таких як крафтове пиво, комерційна β -глюканаза іноді додається як додатковий крок для освітлення пива, оскільки β -глюканаза допомагає розбивати систему каламутності шляхом гідролізу пивної каламуті (білків, пов'язаних з поліфенолами, β -глюканами та крохмалем). Кількість ферменту, що використовується в комерційних цілях, зазвичай становить 0,3-1 кг на тонну суслу [18]. β -глюканаза має оптимальні значення рН і температури 6,0 і 45-50 °С; вона денатурується при 60 °С, що є звичайним, оскільки 45 °С є найнижчою оптимальною температурою для ферментів, що гідролізують клітинні стінки [3].

1.3.2 Амілаза

Амілази використовуються головним чином для розщеплення крохмалю (полісахариду, що складається з великої кількості молекул альфа-глюкози) на декстрини, олігосахариди, мальтозу та молекули глюкози в процесі солодження. Під час пивоваріння для перетворення крохмалю у ферментовану форму використовуються обидва амілазні ферменти — α - та β -амілази [3].

Альфа-амілаза (α -амілаза) — це гідролізатний фермент, який каталізує гідроліз двох великих макромолекул крохмалю — амілози (лінійний ланцюг крохмалю в гранулі) та амілопектину (розгалужений ланцюг крохмалю в гранулі) на декстрини шляхом розриву внутрішніх глікозидних зв'язків між молекулами α -глюкози, тоді як бета-амілаза (β -амілаза) каталізує гідроліз амілози та амілопектину до мальтози шляхом розриву зовнішніх глікозидних зв'язків.

Контроль амілаз також може відігравати дуже важливу роль у якості пива, оскільки в залежності від кількості амілаз, що діють, і кількості доступного крохмалю визначається кількість алкоголю в пиві. Чим вища концентрація цукрів у суслі, тим вищий вміст етанолу в пиві, що може бути досягнуто за допомогою комерційних амілаз у поєднанні з ендogenousними та додаванням додаткових цукрів або крохмалю, тоді як сусло з низьким вмістом цукру або амілаз призводить до низького вмісту алкоголю в пиві.

Оптимальна робота амілаз забезпечує правильний баланс між ферментативними цукрами та декстринами. Надлишок ферментованих цукрів може призводити до повного виснаження сусла та зниження колоїдної стабільності, тоді як надмір декстринів підвищує ризик мікробіологічної нестійкості через наявність залишкових субстратів для сторонніх мікроорганізмів.

Ці два ферменти можуть працювати при однаковій температурі, однак не з такою високою ефективністю, як при оптимальній для кожного з них температурі, що відповідно впливає на співвідношення ферментованого та неферментованого цукру в кінцевому продукті.

Таким чином, контроль активності амілаз під час затирання є важливим інструментом забезпечення стабільності пива: він дозволяє регулювати вуглеводний профіль сусла, впливати на формування стійкості піни, а також зменшувати ризики помутніння та мікробіологічного псування в готовому продукті [3].

1.3.3 Протеаза

Протеази — це клас ферментів, що розчеплюють білкові фракції солоду на прості пептиди та амінокислоти. Використання протеаз у пивоварінні відіграє важливу роль у формуванні стабільних властивостей пива, оскільки білкові сполуки істотно впливають на колоїдну стійкість та якість піни.

Контрольована активність протеаз під час затирання сприяє зниженню в'язкості сусла та частковому видаленню високомолекулярних білків, які можуть бути причиною кристалічного помутніння. Водночас надмірний протеоліз

використовується альфа-ацетолактатдекарбоксілаза, оскільки вона скорочує час бродіння, що прискорює виробництво пива без погіршення якості. Альфа-ацетолактатдекарбоксілаза каталізує перетворення α -ацетомолочної кислоти в ацетоїн шляхом розриву вуглець-вуглецевих зв'язків між α -ацетолактатом.

Таким чином, використання спеціалізованих ферментів дозволяє зменшити ризики утворення помутнінь, стабілізувати ароматичні властивості та забезпечити вищу якість пива протягом усього періоду зберігання [3].

1.4 Переваги та недоліки застосування ферментних препаратів

Одним із найпростіших методів підвищення стійкості пива є частковий гідроліз білкових сполук за допомогою протеолітичних ферментів. Такі ферменти можуть вводитися під час основного бродіння, доброджування або на етапі освітлення безпосередньо перед розливом. Їх застосування знижує ризик формування білково-поліфенольного, зокрема холододового, помутніння.

Цей спосіб має як сильні сторони, так і певні обмеження. До основних переваг застосування протеолітичних ферментів належить: відсутність негативного впливу на смак та аромат пива; збереження природних поліфенольних сполук, що дозволяє підтримувати антиоксидантні властивості напою; а також відсутність потреб у додатковому обладнанні.

Разом і з тим, ферментна обробка може мати й недоліки. Зокрема, існує ризик надмірного гідролізу білків, відповідальних не лише за утворення білково-поліфенольних помутнінь, але й за стабільність піни, що може погіршити її якість. Крім того, окремі ферменти можуть частково зберігати активність навіть після пастеризації. У випадку використання високо якісного солоду застосування протеолітичних ферментів інколи призводить до проблем із формуванням та стійкістю.

1.5 Висновки

Збільшення стійкості пива набуває нині особливої важливості через посилення вимог до підвищення конкурентоспроможності української пивної продукції.

Процеси помутніння зміни аромату й смаку пива відбуваються під впливом двох основних груп чинників:

- ✓ Біологічні: пов'язані з розвитком мікроорганізмів у готовому пиві, що визначають його стійкість із біологічної точки зору.
- ✓ Фізико-хімічні: впливають на стан колоїдних речовин у пиві, забезпечуючи його стійкість.
- ✓ Високомолекулярні нестабільні білки та поліфеноли, що містяться в пиві, спричиняють утворення колоїдного помутніння. Це, своєю чергою, впливає на такі характеристики якості пива, як прозорість, аромат та стійкість піни.
- ✓ На стійкість пива значною мірою впливають певна кількість чинників. До них належать:
- ✓ Температурну умови під час зберігання та транспортування;

- ✓ Механічні впливи, такі як струшування або перемішування;
- ✓ Інтенсивність дії світла;
- ✓ Показник рН;
- ✓ Вміст кисню та іонів важких металів;

Оскільки ці чинники істотно знижують стабільність пива, у сучасному пивоварінні застосовують різні технологічні підходи, спрямовані на їх мінімізацію та запобігання. Дослідження таких методів є важливою складовою підвищення загальної стійкості пива.

2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження виконувались на кафедрі біотехнології продуктів бродіння та виноробства Національного університету харчових технологій та на малих пивоварних підприємствах України.

2.1 Матеріали досліджень

Матеріалами даного дослідження є сировина, допоміжні матеріали та продукти, що беруть участь у циклі виробництва пива. Серед них: ячмінний солод, дріжджі, вода та хміль. Особлива увага приділена протеолітичним ферментним препаратам (Нейтраз, Brewers Clarex, Profix 6500). Як об'єкт аналізу використовувалися також світле та темне солодове сусло.

2.2 Методи досліджень

Дослідження проводилося на базі двох видів сусла – темне, що виготовлене з використанням карамельного та паленого солоду з концентрацією сухих речовин у початковому суслі – 16,3 %. І світлого солодового сула, що було приготоване з концентрацією – 12,5 %.

Пивне сусло, що вироблялося зброджувалося у пляшках.

Ферментні препарати вносилися у різних співвідношеннях: Нейтраз – від 0,3 до 0,6 г/дм³; Протеаза – від 10 до 20 мг/дм³; Brewers Clarex від 0,155 до 0,202 г/дал; Profix 6500 – від 0,2 до 0,3 г/дал.

Ферментний препарат Brewers Clarex додавався на початку головного бродіння, а Profix 6500 після доброджування. ФП Нейтраз додавалась на етапі затирання та на початку бродіння, а ферментний препарат Протеаза тільки на початку бродіння.

Контрольним зразком виступало аналогічне сусло, у яке не вносилося жодних ферментних препаратів.

Головне бродіння, для всіх зразків, проводилося при температурі 7°C, протягом 7 діб. Доброджування та дозрівання – 6...8 °C.

Всі зразки були досліджені на присутність речовин, що сприяють утворенню колоїдного помутніння, а також на визначення показників, які впливають на його стійкість, відповідно до наведених нижче методик [28].

2.2.1 Визначення вологості світлого ячмінного солоду методом прискореного висушування

Суть методу полягає у встановленні зменшення маси подрібненого солоду внаслідок випаровування води під час висушування за чітко заданими параметрами, такими як температура та тривалість. Маса випареної води визначається шляхом порівняння ваги зразка до та після процесу сушіння [32].

2.2.2 Визначення екстрактивності стандартним методом

Суть методу полягає у визначенні екстрактивності, яка відображає відсоток сухих речовин, що можуть перейти в розчин під впливом ферментів солоду за певних умов, таких як температура та тривалість [32].

2.2.3 Визначення тривалості оцукрювання

Суть методу полягає в здатності крохмалю утворювати інтенсивне синє забарвлення при взаємодії з йодом. Високомолекулярні декстрини, які не повинні бути присутніми, можуть викликати таке забарвлення при змішуванні краплі суслу з розчином йоду концентрацією 0,1 моль/дм³.

Тривалість оцукрення вимірюється в хвилинах [32].

2.2.4 Визначення активної і титрованої кислотності

Активну кислотність вимірюють за допомогою рН-метрів різних типів, і вона має значний вплив на активність ферментативних процесів під час затирання.

Метод визначення титрованої кислотності базується на нейтралізації кислот та їх кислих солей, що знаходяться у суслі, за допомогою розчину гідроксиду натрію з використанням фенолфталеїну як індикатора [32].

2.2.5 Визначення масової частки сухих речовин у пивному суслі за допомогою рефрактометра (РПЛ-3)

Основний принцип методу полягає у визначенні оптичного показника заломлення пивного сусла за допомогою рефрактометра. Під час переходу світлового променя з одного середовища в інше (в даному випадку в сусло) частина світла відбивається від поверхні, а інша частина змінює первісний напрямок і заломлюється.

Вимірювання проводять щонайменше п'ять разів, після чого для розрахунків використовується середнє арифметичне отриманих значень [32].

2.2.6 Визначення амінного азоту йодометричним методом за Попом і Стівенсоном

Основу методу становить здатність амінокислот формувати розчинні комплексні сполуки з міддю [32].

2.2.7 Визначення вмісту мальтози йодометричним методом

Основу методу становить реакція окислення альдегідної групи цукрів до відповідної одноосновної кислоти, яка відбувається лише в слабколужному середовищі за кімнатної температури [32].

2.2.8 Визначення кольору візуальним методом колориметричним титруванням

Суть методу полягає в тому, що певний об'єм дистильованої води титрують розчином йоду з концентрацією 0,1 моль/дм³ за умов постійного

перемішування, доводячи до колориметричної відповідності з дослідним зразком, взятим у тому ж об'ємі.

Під час аналізу готового пива використовували такі методики.

2.2.9 Аналіз масової частки спирту і дійсного екстракту. Дистиляційний метод

Метод передбачає відгонку (дистиляцію) спирту із зваженої проби пива, після чого визначають густину дистиляту та залишку шляхом використання пікнометра. Маса дистиляту і залишку доводиться до початкової маси проби.

Міцність спирту – дистиляту встановлюється за допомогою занурювального рефрактометра, що базується на вимірюванні показника заломлення світла у пробі пива [32].

2.2.10 Визначення дійсного та видимого ступеня збродження

Дійсний ступінь збродження V_d у відсотках за формулою:

$$V_d = \frac{(m_{nc} - m_e) \times 100}{m_{nc}}$$

де: m_{nc} – масова частка сухих речовин в початковому суслі, %;

m_e – масова частка дійсного екстракту в пиві, %.

У відсотках розраховують по видимому екстракту в пиві, який визначають у пробі пива у присутності спирту і діоксину вуглецю, за формулою:

$$V_b = \frac{(m_{nc} - m'_e) \times 100}{m_{nc}}$$

де: m'_e – масова частка видимого екстракту у пиві, %

2.2.11 Визначення вмісту загально-розчинного азоту

Вміст загального розчинного азоту визначався методом К'ельдаля.

Метод полягає в наступному: досліджуваний матеріал піддається окисленню за допомогою концентрованої сірчаної кислоти при нагріванні. У процесі реакції сірчана кислота розпадається на сірчистий газ, воду та активний кисень. Цей кисень окислює вуглець і водень в органічних сполуках до вуглекислого газу і води, водночас азот виділяється у формі аміаку. Виниклий аміак реагує з надлишком сірчаної кислоти, утворюючи сірчаноокислий амоній, який потім розщеплюють за допомогою лужного розчину. Надалі аміак, що вивільняється, змішується із водяною парою і переноситься у розчин сірчаної кислоти. Зайву кислоту, яка не вступила у реакцію, нейтралізують титруванням за допомогою лугу

2.2.12 Визначення стійкості пива до охолодження (межа осадження сірчаноокислим амонієм)

Суть методу: Осадження білків у пиві відбувається під впливом насиченого розчину сульфату амонію.

Межа осадження характеризується об'ємом насиченого розчину сірчаноокислого амонію (см³), який потрібно внести до 100 см³ досліджуваного

пива, щоб викликати помутніння. Після додавання сірчаноокислого амонію до пива відбувається процес дегідратації білкових молекул, які з'єднуються та утворюють пластівці, спричиняючи помутніння.

Техніка аналізу:

У ряд пробірок, закріплених на штативі, піпеткою додають по 10 см³ досліджуваного пива, а потім поступово вводять зростаючі об'єми насиченого розчину сірчаноокислого амонію. Для нестабілізованого пива починають з інтервалу 0,5–0,6 см³, а для стабілізованого — з 1,0–1,2 см³. У кожен наступну пробірку об'єм солі збільшують на 0,1 см³. Вміст ретельно перемішують і залишають при кімнатній температурі на 15–20 хвилин. Після цього визначають пробірку з мінімальною кількістю сульфату амонію, яка викликає помутніння пива.

2.2.13 Прогнозування стійкості пива (шок-тест)

Суть методу: полягає у вимірюванні каламутності пива при температурі 0 °С. Потім тестові зразки пива поміщають у водяну баню з температурою 60 °С на 24 години. Після цього зразки охолоджують до 0 °С, витримують за цієї температури протягом 24 годин і знову вимірюють каламутність при 0 °С.

Для аналізу використовують нефелометр (мутномір, турбідиметр, Nage Meter). У приладі необхідно забезпечити циркуляцію води на температурі, що відповідає умовам вимірювання. У випадку, якщо пиво не фасоване у пляшки, його обережно переливають у відповідний посуд, мінімізуючи ризики потрапляння кисню в продукт. Якщо стандартна пляшка за своїми параметрами не підходить для розміщення в нефелометрі, пиво переносять у зручну тару для виконання вимірювання [32].

Техніка аналізу:

Пляшки з пивом залишають на ніч у камері при температурі 0 °С і наступного ранку оцінюють рівень початкової каламутності. Потім пляшки розташовують вертикально, без струшування, в інкубатор при температурі 60 °С на 24 години. Після цього їх переміщують у охолоджену камеру при 0 °С ще на 24 години. Завершивши процес, вимірюють кінцеву каламутність при 0 °С та фіксують результати початкової й кінцевої каламутності в формазинових одиницях ЕВС.

2.2.14 Визначення «чутливих білків» (Sensitive Protein)

Суть методу: Показник «чутливі білки» визначає вміст високомолекулярних білків, які мають здатність взаємодіяти з таніном – високомолекулярною фенольною сполукою.

Техніка аналізу: у мірну колбу на 50 см³ додають 2,5 см³ сусла та 25–30 см³ дистильованої води. Після цього по черзі вводять по 5 см³ 10%-ного розчину сірчаної кислоти і 1,6%-ного таніну. Об'єм доводять дистильованою водою до позначки. Отриманий вміст переливають у колбу об'ємом 250 см³ і залишають на годину при температурі 20 °С. Після інтенсивного перемішування визначають рівень мутності.

2.2.15 Визначення вмісту поліфенольних речовин

Вміст поліфенольних сполук визначався методом тонкошарової рідинної хроматографії за допомогою рідинного хроматографа відповідно до методики ЕВС.

2.3 Методика досліджень

Згідно поставленої задачі було розроблено схему проведення теоретичних та експериментальних досліджень, яка представлена на рис. 2.1.

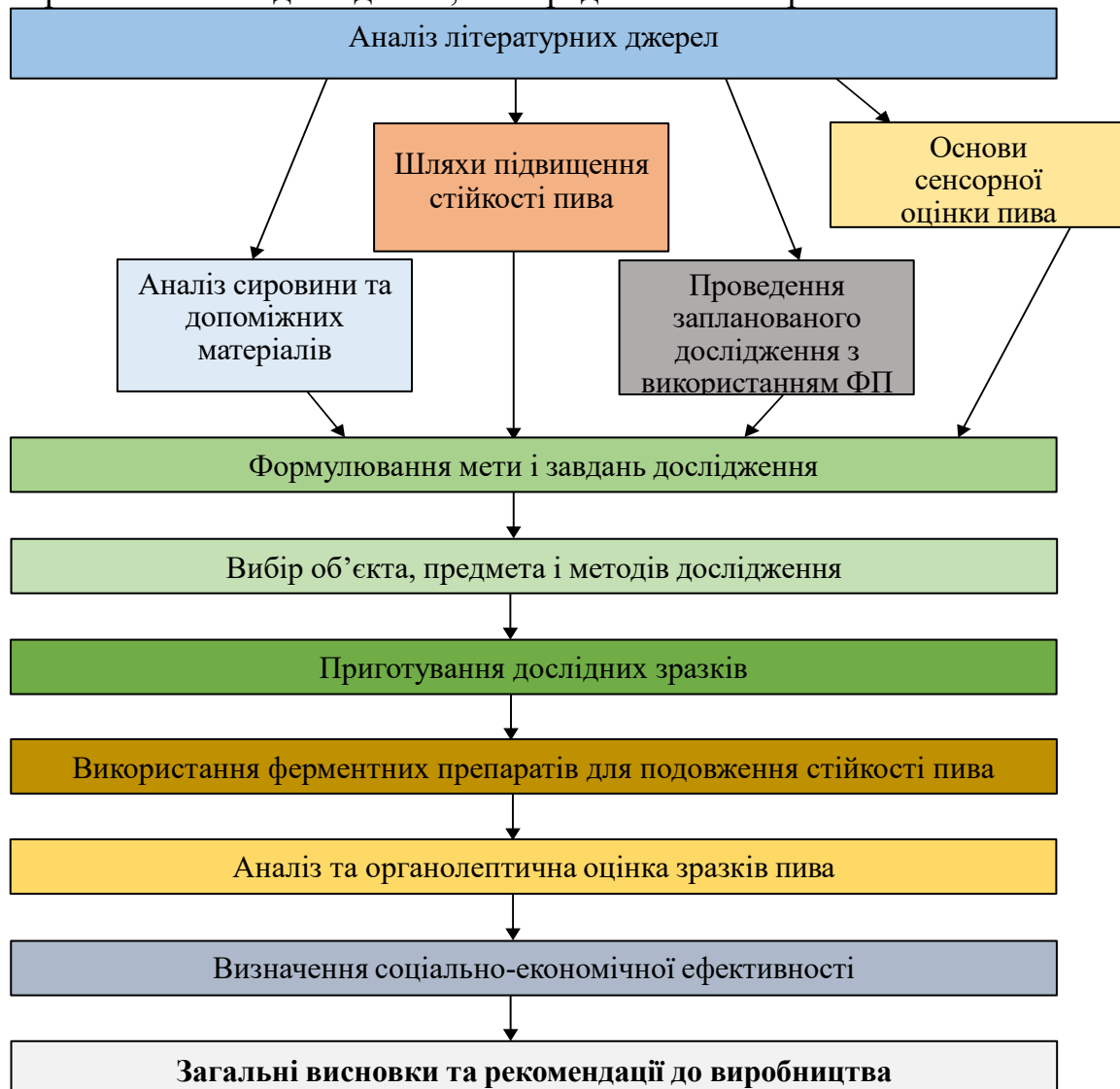


Рис. 2.1 – Методика проведення дослідження

2.4 Оброблення результатів досліджень

Виміри фізико-хімічних показників сула та пива здійснювалися у 3-х повторях, на основі яких одержували середні значення. Похибка визначення показників не перевищувала 5%.

Обробку цифрових даних і графічне зображення слайдів та результатів дослідів здійснювали на персональному комп'ютері за допомогою таких програм як MS Excel та MS PowerPoint.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ КОЛОЇДНОЇ СТІЙКОСТІ ПИВА

Дана магістерська робота проводилася у лабораторних умовах кафедри біотехнології продуктів бродіння та виноробства, а також, частково, у виробничій лабораторії мініпивоварень. Використовували темне сусло, а також на світле сусло, приготованому в лабораторних умовах.

Було вивчено вплив протеолітичних ферментів на колоїдну стійкість пива за умови їх додавання в різних концентраціях та на різних етапах технологічного процесу виробництва пива, стійкого до колоїдного помутніння.

Світле солодове сусло, виготовлене в лабораторних умовах, отримали з використанням ячмінного солоду, хмелю, та води [28]. Для дослідження використовували воду з міського водопроводу. За своїми показниками вона відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [27]. Під час аналізу хмелю, було встановлено, що вміст α -кислот становить 3,5 %, що у свою чергу відповідає вимогам ДСТУ 4097.2. – 2002 «Хміль гіркий» [30].

Здійснили аналіз солоду, який використовували для приготування сусла.

Фізико-хімічні показники світлого ячмінного солоду визначали згідно методик. Результати представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-хімічні показники світлого ячмінного солоду

Показник	Вологість %	Екстрактивність, % на		Вміст редуруючих речовин, г на		Амінний азот, мг на		Кислотність 1 моль/дм ³ на 100 см ³ суслу	Колірність см ³ розчину йоду/100 см ³ води
		СР	ПСР	100 см ³ суслу	100 г екстракту	100 см ³ суслу	100 г екстракту		
Світлий ячмінний	5,0	76	79,3	6,04	82,7	36,20	315,7	0,9	0,23

За даними табл. 3.1 світлий ячмінний солод відповідає нормам I-го класу для світлого ячмінного солоду, згідно ДСТУ 4282:2004 [29].

Для зброджування пива використовували чисту культуру дріжджів раси *Saccharomyces carlsbergensis*.

3.1 Дослідження впливу ФП Нейтрази на колоїдну стійкість пива

Першим етапом дослідження, відповідно до поставленого завдання, були проведені дослід з ферментним препаратом Нейтраза, який додавали під час затирання у кількості – 0,3 г/дм³ суслу. За контроль використовували чисте солодове сусло, а дослідним зразком 2- солод з додаванням Нейтрази.

Сусло було приготоване у лабораторних умовах кафедри, зі світлого ячмінного солоду, без додавання несолодженої сировини, та концентрацією сухих речовин 12,5 %.

Пивне сусло готували настійним способом. Початкова температура затирання становила 35°C. Були витримані паузи: білкова при 50°C; мальтозна при 64 °C; оцукрювання при 75 °C.

Нейтраза 0,8 L — це нейтральна протеаза, яка використовується при затиранні для підвищення вмісту вільного амінного азоту. Використання даного ферменту рекомендується при роботі з погано розчиненим солодом або при використанні великої кількості несолодженої сировини. Нейтраза містить у своєму складі, в основному, протеолітичні ферменти – протеази, амілозу та β-глюканазу [21].

Таблиця 3.2 – Фізико-хімічні показники пивного сусла

Зразок	Масова частка СР, %	Амінний азот, мг/100 см ³	Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1моль/дм ³ на 100см ³ сусла	Редукуючі речовини, г/100 см ³
Чисте солодове сусло	12,5	9,4	11,9	3,1
Зразок солод +0,2 г Нейтрази при затиранні	12,5	10,0	14	3,0

У табл. 3.2 наведено результати аналізу сусла з однаковою концентрацією сухих речовин – 12,5 %. При цьому у зразку з ФП спостерігається збільшення амінного азоту (з 9,4 до 10,0 мг/100 см³), що свідчить про активніше розщеплення білкових сполук. Кислотність також підвищилася (з 11,9 до 14 см³ розчину NaOH), що може бути наслідком ферментативної дії препарату. Вміст редукуючих речовин у зразку з ферментом дещо нижчий (з 3,1 до 3,0 г/100 см³), проте різниця є незначною.

3.1.1 Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її на стадії затирання

Однією з вибраних стадій для внесення ферменту була стадія затирання, оскільки саме на цьому етапі можна впливати на концентрацію фенольних та інших сполук, що визначають колоїдну стійкість пива. Відповідно до рекомендацій виробника, під час затирання ферментний препарат слід додавати у кількості 0,3 г/дм³ сусла.

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічні показники світлого пива при внесенні протеолітичного ФП Нейтрази на стадії затирання

Зразки	Масова частка сухих речовин у початковому суслі, %	Масова частка дійсного екстракту, %	Масова частка спирту, % об	Ступінь зброджування, %		Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1 моль/дм ³ на 100 см ³ сусла	Колір, см ³ розчину йоду концентрацією 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ води
				дійсний	видимий		
контроль-чисто солодове	12,5	3,8	4,39	71,6	55,2	4,9	0,9
солод + 0,3 г нейтрази при затиранні	12,5	4,1	4,6	71,9	61,9	4,0	0,6

У таблиці 3.3 видно, що у контрольному зразку, куди протеолітичний ФП Нейтраза не вносився, масова частка спирту становить 4,39 %, а при додаванні ФП у кількості 0,3 г/дм³ сусла, цей показник зростає до 4,6 %. Показник кислотності зменшується при внесенні Нейтрази, що свідчить про те, що протеолітичний ФП зв'язав білок, який має кислий характер.

Отже, при внесенні ФП Нейтраза у кількості 0,3 г/дм³ сусла, під час стадії затирання, можна спостерігати покращення показників готового світлого пива.

3.1.2 Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її перед бродінням

Метою наступного етапу дослідження було встановити оптимальну дозу ФП та оцінити його вплив під час процесу бродіння. У холодне охмелене сусло вносили протеолітичний ферментний препарат Нейтразу в кількостях від 0,3 до 0,6 г/дм³ сусла. Після чого сусло залишали на бродіння, що тривало 7 діб при температурі 7 °С.

По завершенні бродіння молоде пиво відокремлювали від осаду дріжджів і направляли на доброджування при температурі 2–4 °С протягом 12 діб. Після завершення доброджування визначали фізико-хімічні показники готового пива відповідно до методик, наведених у розділі 2.

Результати експериментів по вивченню впливу концентрації внесених ФП на основні показники колоїдної стійкості пива наведені в табл.3.4

Таблиця 3.4 – Фізико-хімічні показники пива

Зразки	Масова частка сухих речовин у початковому суслі, %	Масова частка дійсного екстракту, %	Масова частка спирту, % об	Ступінь зброджування, % (дійсний)	Ступінь зброджування, % (видимий)	Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1 моль/дм ³ на 100 см ³ сусла	Колір, см ³ розчину йоду концентрацією 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ води
Зразок 1 ЧСС	12,5	3,9	4,39	71,6	55,2	4,9	0,9
Зразок 2 + 0,3 г ФП	12,5	3,5	4,13	70,8	66,67	3,55	0,65
Зразок 3 + 0,4 г ФП	12,5	3,3	3,94	73,3	66,67	3,4	0,7
Зразок 4 + 0,6 г ФП	12,5	3,0	3,70	63,3	58,3	3,0	0,6



Рис.3.2. - Зміна масової частки дійсного екстракту залежно від дози ФП

Як видно з отриманих результатів, при різній кількості внесення протеолітичного ферменту, спостерігається зміна деяких показників. На рис. 3.2 можна спостерігати залежність масової частки дійсного екстракту від дози ферментного препарату. На діаграмі видно, що зразок 2 у кількості 0,3 г/дм³, масова частка дійсного екстракту становить 3,5 %, а при кількості внесеного ФП 0,6 г/дм³ - 3,0, тобто зі зростанням дози ФП, показник дійсного екстракту також зростає.

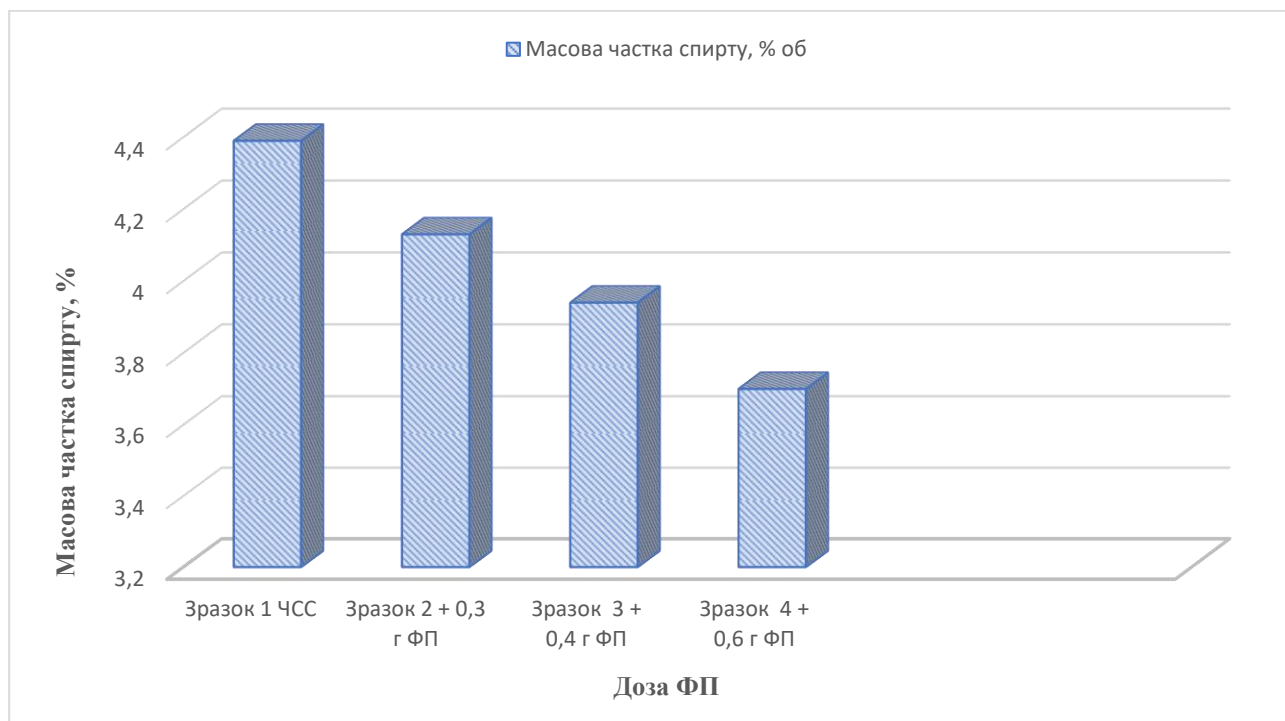


Рис.3.3. - Зміна масової частки спирту залежно від кількості внесення ФП

Рисунок 3.3 демонструє, що дозування ферментного препарату є критичним фактором, який безпосередньо впливає на метаболічну активність дріжджів та кінцевий вміст спирту в напої. Згідно з отриманими даними, найбільший показник спирту зафіксовано у контрольному зразку чистого солодового суслу без добавок, де він становить 4,39% об.. При внесенні ферментного препарату спостерігається чітка тенденція до зниження міцності напою, що свідчить про інгібування процесу бродіння при збільшенні концентрації ФП. Так, при дозуванні 0,3 г ФП вміст спирту знижується до 4,13% об., при дозі 0,4 г ФП — до 3,94% об., а при максимальному внесенні 0,6 г ФП показник падає до найнижчого значення — 3,70% об.. Така нетипова залежність може бути пояснена надмірним впливом ферменту на субстрат, що порушує баланс поживних речовин та пригнічує життєдіяльність дріжджів. Отримані результати підтверджують, що підвищення концентрації досліджуваного ФП призводить до погіршення якісних характеристик пива, зокрема до зниження масової частки спирту, через що подальше збільшення дози вважається недоцільним.

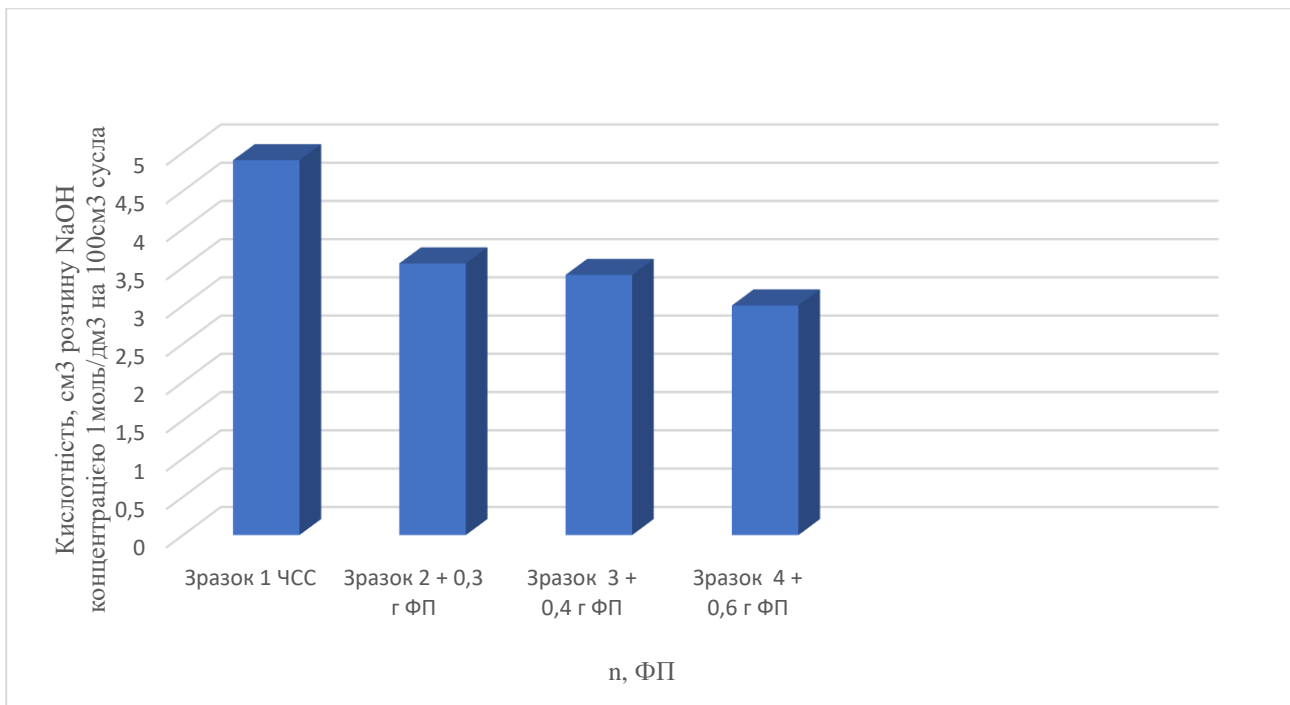


Рис.3.4. Зміна значення кислотності готового пива, залежно від дози ФП

Ця нетипова залежність (зниження спирту при збільшенні ФП) може бути пояснена надмірним впливом ферменту на субстрат, що інгібує діяльність дріжджів, або порушенням балансу поживних речовин. Таким чином, діаграма

3.2 Дослідження впливу ферментного препарату Протеази при внесенні її перед бродінням

На другому етапі дослідження використовували темне солодове сусло, що було отримане на пивоварні «Пиваріум». Концентрація сухих речовин становила 16,3 %. Сусло було виготовлене з використанням карамельного, паленого та світлого солодів, хмелю та сухих дріжджів французького виробництва.

Таблиця 3.5 – Аналіз темного пивного суслу

Показник	Масова частка СР, %	Колір, см ³ розчину йоду концентрацією 0,1 моль/дм ³ на 100см ³ води	Амінний азот, мг/100 см ³	Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1 моль/дм ³ на 100см ³ суслу	Редукуючі речовини, г/100 см ³
Темне солодове сусло	16,3	8,15	23,94	5,3	5,60

Дослідження розпочалося аналізом суслу, після чого для оптимізації процесу збродження був заданий протеолітичний ферментний препарат Протеаза, у дозуванні 10-20 мг/дм³. Після чого був проведений процес бродіння, що тривав 7 діб за температури 6...8 °С. По завершенню бродіння, був

додатковий етап доброджування за температури 3...4 °С, протягом 12 годин.

Після охмелення світлого солодового суслу у нього задали дріжджі раси *Saccharomyces carlsbergensis*. Бродіння тривало 7 діб при температурі 7 °С. Під час бродіння спостерігали за зміною видимого екстракту, динаміка якого наведена на рис. 3.5, а також у табл.3.6.

Таблиця 3.6 – Динаміка зміни видимого екстракту в процесі бродіння темного пивного суслу

ФП Протеаза, мг/дм ³	Вміст сухих речовин, %					
	поч. сусло	1 доба	2 доба	4 доба	5 доба	7 доба
Контроль	16,3	15,0	14,2	11,2	11,0	9,1
10 мг	16,3	14,9	13,8	11,6	10,4	8,1
13,3 мг	16,3	15,4	14,4	11,4	10,3	8,0
16,7 мг	16,3	15,4	14,6	11,2	10,3	7,9
20 мг	16,3	15,4	14,8	10,8	10,2	7,7

На підставі даних графіку та таблиці, що ілюструють динаміку зміни вмісту сухих речовин (СР) або видимого екстракту, можна відзначити, що початкова концентрація СР у всіх дослідних зразках становила 16,3 %. Вплив протеолітичного ферменту, внесеного у дозах від 10 мг/дм³ до 20 мг/дм³, став помітним не одразу. На першу добу головного бродіння дослідні зразки, навпаки, показали дещо повільнішу динаміку зброджування: деякі з них мали вміст СР до 15,4%, тоді як у контролі він становив 15,0 %. Однак уже на другу добу у зразку з 10 мг/дм³ Ф П було зафіксовано вміст 13,8 % СР, що на 0,4 % краще, ніж у контролі (14,2 %).

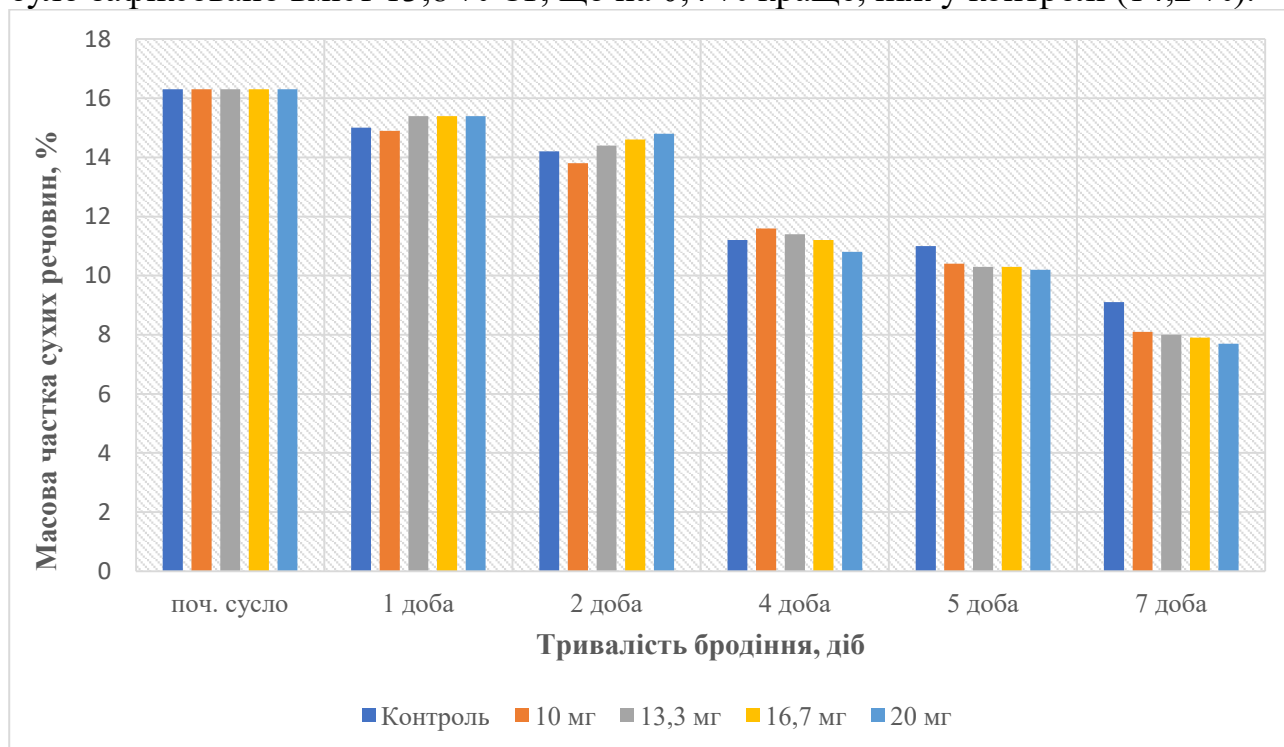


Рис. 3.5. Зміна видимого екстракту в процесі бродіння пивного суслу

Найбільш значущі розбіжності між контрольним і дослідними зразками проявилися на стадії глибинного бродіння, починаючи з 4 доби. На 4 добу вміст екстрактивних речовин у зразках із ферментом зменшився на 0,2 % - 0,4 % порівняно з контролем (11,2 % СР). До 5 доби ця різниця зростає, досягнувши 0,6 % - 0,8 % СР відносно контролю (11,0 %).

Під кінець головного бродіння, на 7 добу, вплив ферменту був найбільш вираженим. У той час як контрольний зразок містив 9,1 % залишкового СР, у дослідних зразках цей показник знизився до 7,7 % - 8,1 %. Таким чином, максимальна різниця у зброджуванні склала 1,4 % СР (між контролем і зразком 20 мг/дм³ ФП), що свідчить про посилення глибини зброджування пропорційно дозі внесеної протеази. Завершивши основний етап, молоде пиво відокремлюють від дріжджового осаду і ставлять на подальше доброджування при низьких температурах.

Після закінчення процесу доброджування було визначено фізико-хімічні показники готового пива згідно методик, які наведені розділі 2 [31].

Таблиця 3.7 – Фізико-хімічні показники готового темного пива

Зразок, кількість ФП «Протеази»	Масова частка сухих речовин у початковому суслі, %	Масова частка дійсного екстракту, %	Масова частка спирту, % об	Ступінь зброджування, %		Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1моль/дм ³ на 100см ³ сусла	Колір, см ³ розчину йоду концентрацією 0,1 моль/дм ³ на 100см ³ води
				дійсний	видимий		
Контроль	16,3	7,13	4,39	54,0	47,4	6,52	8,56
+10 мг/дм ³	16,3	6,11	7,04	68,3	52,4	6,32	7,35
+13,3 мг/дм ³	16,3	6,01	7,04	68,6	62,8	6,93	6,93
+16,7 мг/дм ³	16,3	5,91	7,74	70,9	63,5	6,93	6,52
+20 мг/дм ³	16,3	5,30	7,74	73,0	64,2	4,89	4,89

З табл. 3.7 видно, що зі збільшенням дози ФП масова частка дійсного екстракту зменшується, зокрема при внесенні Протеази у кількості 10 мг/дм³ показник масової частки дійсного екстракту становив 6,11 %, а при внесенні 20 мг/дм³ – 5,30 %, тобто на 0,8% менше.

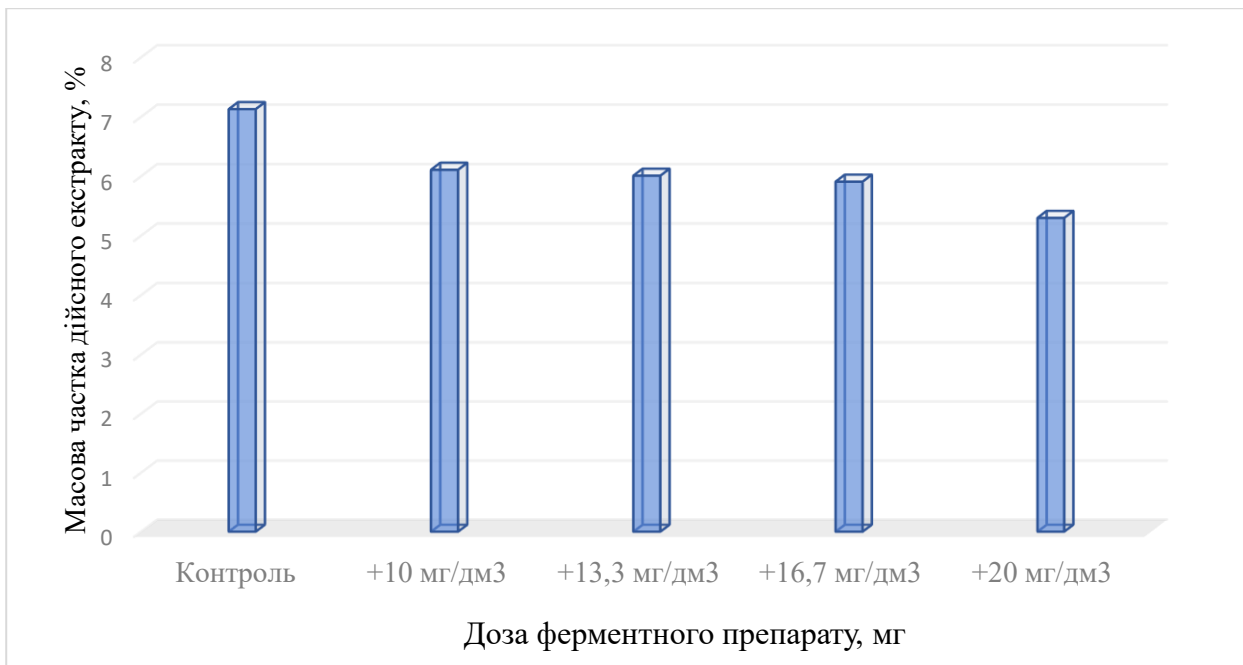


Рис.3.6. - Зміна масової частки дійсного екстракту залежно від дози ФП

Аналогічна залежність спостерігається і з показником кислотності – при кількості 10 мг/дм³ – кислотність становить 6,32 а при дозі 20 мг/дм³ – 4,89 см³ розчину NaOH концентрацією 1моль/дм³ на 100см³ сусла.

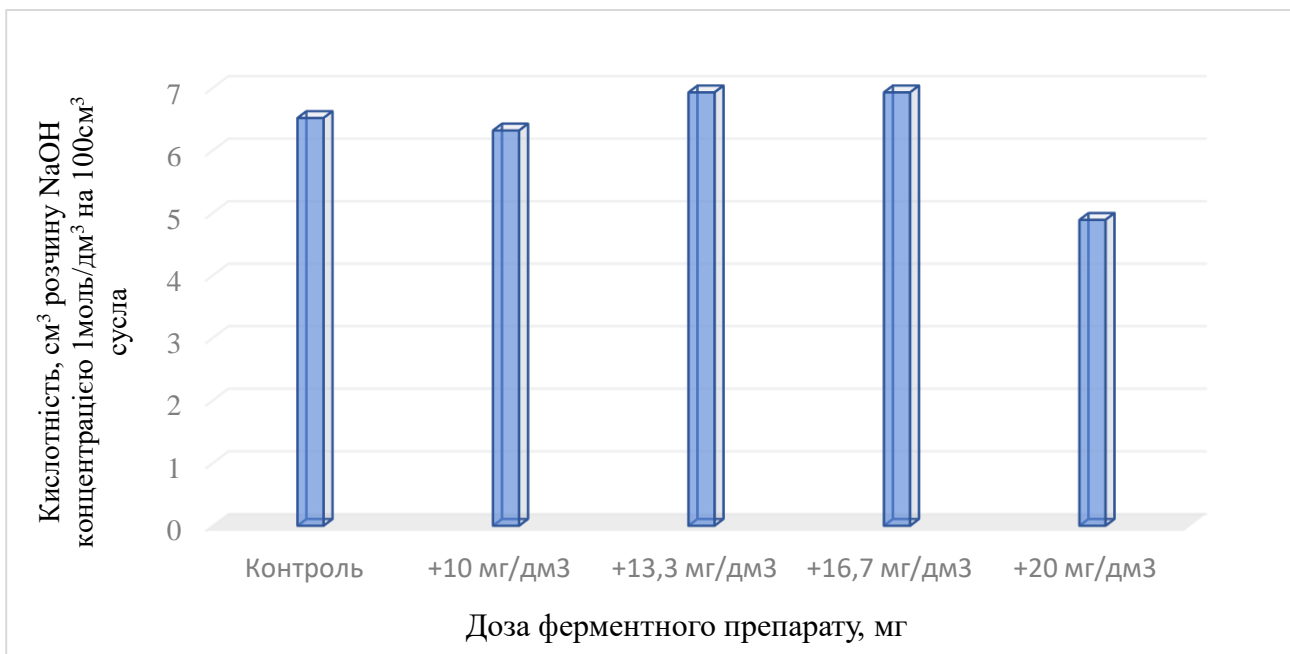


Рис.3.7. - Зміна значення кислотності готового пива залежно від дози ФП

Але при збільшенні кількості внесення Протеази дійсний та видимий ступінь зброджування зростає. Так, при внесенні 13,3 мг/дм³ ФП дійсний становить 68,6 %, а видимий – 62,8, а при дозі 20 мг/дм³ – дійсний становить 73,0, а видимий – 64,2 %.

3.3 Дослідження впливу ферментних препаратів **Brewers Clarex** та **Profix** при внесенні їх на стадії фільтрування

Наступний етап досліджень проводився у заводських умовах з препаратами **Brewers Clarex** та **Profix** під час стадії фільтрування.

Фермент під назвою **Brewers Clarex®** допомагає пивоварам у всьому світі досягати цих цілей і залишатися вірними своєму ремеслу.

Brewers Clarex® простий у використанні та спрощує стабілізацію, усуваючи етапи глибокого охолодження та промивання в процесі, що допомагає пивоварням економити кошти, підвищувати ефективність та залишатися в авангарді інновацій [35].

Profix 6500 - Протеаза від компанії «Kerry» — це фермент широкого спектру дії, призначений для запобігання помутнінню пива. Його функція полягає в гідролізі білкових компонентів, що спричиняють помутніння. Зазвичай препарат додають перед пастеризацією або безпосередньо перед розливом.

У рамках дослідження впливу ферментів, препарат **Brewers Clarex** вводився безпосередньо в сусло напередодні фази активного бродіння. Випробування проводилося з використанням трьох дозувань: 0,152; 0,177 та 0,202 г/дал суса.

Результати представлені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Показники колоїдної стійкості дослідних зразків пива

Показники	Конт-роль	Концентрація Brewers Clarex , г/дал								
		0,152			0,177			0,202		
Умови фільтрування	без доба-вок	без доба-вок	+0,2 г/дал Profix	+0,3 г/дал Profix	без доба-вок	+0,2 г/дал Profix	+0,3 г/дал Profix	без доба-вок	+0,2 г/дал Profix	+0,3 г/дал Profix
Загально-розчинний азот	84,5	81,45	79,79	78,89	75,08	74,58	74,28	74,78	71,97	70,77
Поліфенольні речовини	266	259,52	262,84	260,84	257,96	259,96	257,96	253,96	256,96	254,96
Межа осадження сульфатом амонію,	10	14,32	12,16	12,32	16,08	15,08	16,08	17,08	18,08	19,08
Прогнозована стійкість, місяців	2,16	2,46	2,85	2,96	3,21	3,48	3,44	3,22	3,19	03,08

Як видно з наведеної таблиці, що відображає прогнозовані показники якості пива після внесення ферментного препарату **Brewers Clarex** та стабілізатора **Profix**, спостерігаються чіткі зміни. Зі збільшенням концентрації ФП **Brewers Clarex** від 0,152 до 0,202 г/дал суса, вміст загального азоту стабільно зменшується від 81,45 до 74,78 мг/100 см³. Вміст поліфенольних речовин також демонструє незасне зниження, від 259,52 до 253,96 мг/100 см³. Зниження вмісту цих речовин, що беруть участь в утворенні білково-поліфенольних комплексів, сприяє покращенню колоїдної стійкості пива.

Про підвищення стійкості пива, вказують і показники межі осадження сульфату амонію. В залежності від способу внесення цей показник коливається у межах : від 10 до 19,08 см³/100 см³.

За загальноприйнятими критеріями, стійке пиво має мати межу осадження від 15 см³/100 см³. Аналізуючи таблицю, можна стверджувати, що зразки Контроль, 0,152 г/дал (без добавок, +0,2 г/дал Profix та +0,3 г/дал Profix), а також 0,177 г/дал (тільки без добавок) не досягають необхідної стійкості за цим показником.

Для порівняння був проведений такий ж самий дослід із зразками пива, до яких був доданий ФП Нейтраза. Та межі осадження не спостерігалися, тобто жоден зразок не помутнів, що вказує на те, що ФП Нейтраза зв'язує білок, що знаходиться у пиві, і він не прореагував з сірчанокислим амонієм. Вплив способу обробки досліджуваних зразків пива ферментними препаратами на показник прогнозованої стійкості готової продукції ілюстровано на рис 3.8.

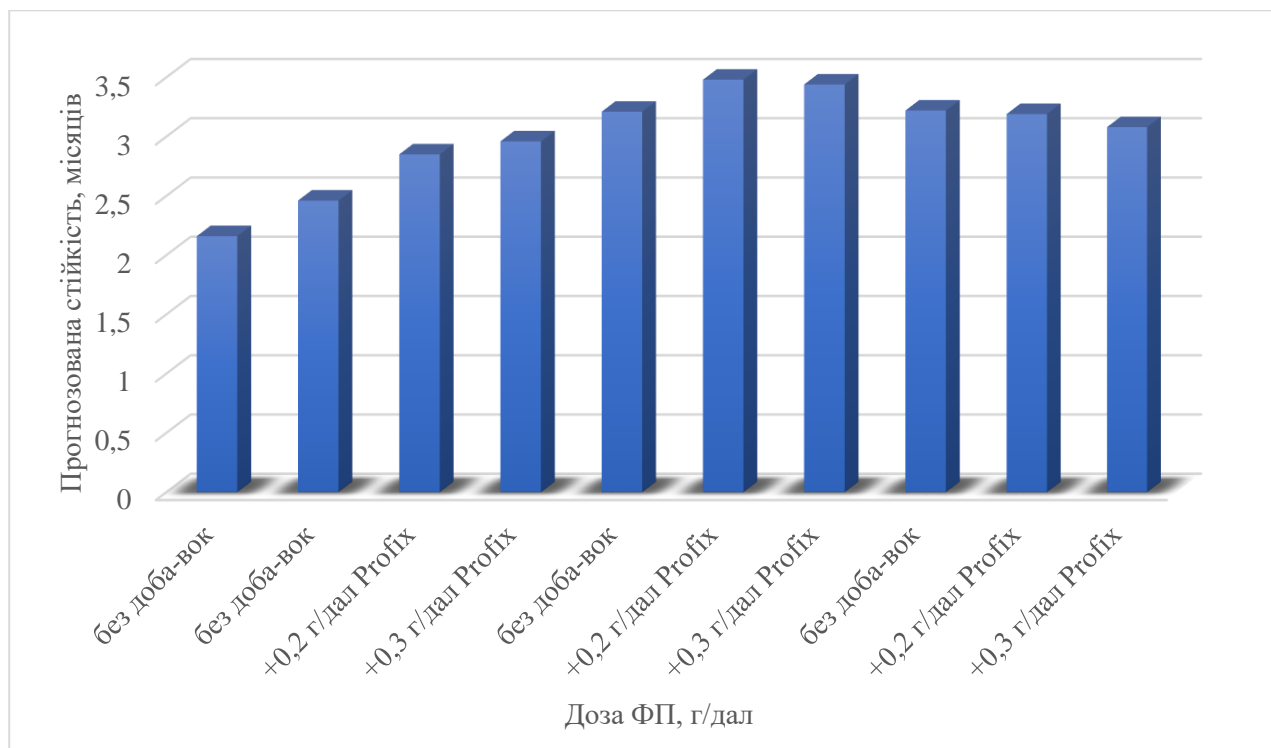


Рис. 3.8. – Вплив способу обробки досліджуваних зразків пива ферментними препаратами на показник прогнозованої стійкості готової продукції

Проаналізувавши вплив концентрації ферментного препарату Brewers Clarex та стабілізатора Profix на показник прогнозованої стійкості, можна зробити висновок, що отримані результати досягаються за рахунок комбінованого застосування.

Зокрема, найвище значення прогнозованої стійкості – 3,48 місяців, зафіксовано для зразка, що містить 0,175 г/дал Brewers Clarex та 0,2 г/дал Profix. Цей показник значно перевищує стійкість контрольного зразку, без добавок, яка становить 2,16 місяців.

Використання комбінації 0,175 г/дал Brewers Clarex та 0,2 г/дал Profix. Забезпечує збільшення прогнозованої стійкості на 61,11 %, що підтверджує ефективність обраного дозування для максимальної стабільності пива.

3.4 Визначення колоїдної стійкості

Додатково було проведено тест на визначення чутливих білків - високомолекулярних протеїнів, здатних до реакції з танінами. Дія танінової кислоти полягає у вибіркового осадженні білків шляхом утворення водневих зв'язків із групами (-SH) та (-NH) поліпептидів.

Аналіз показав різну реакцію на танін залежно від дози ферменту Нейтраза. У зразках, що містили 0,3; 0,4; та 0,6 г/дм³ Нейтрази, сушло залишалося прозорим з видимим осадом, що підтверджує ефективну дію протеолітичного ФП на білково-поліфенольні комплекси. Водночас, в інших зразках, включно з контрольним (без ферменту), після тесту виникало помутніння. Це доводить, що білки солоду самі по собі є потенційним джерелом білкового помутніння.

3.5 Висновки

У результаті проведених досліджень було вирішено низку науково-практичних завдань та встановлено наступне:

1. Проведено порівняльний аналіз дії чотирьох протеолітичних ферментних препаратів (Нейтраза, Протеаза, Brewers Clarex та Profix), що дозволило оцінити їх ефективність у процесі регулювання азотистого складу сушла та підвищення стійкості готового напою.

2. Встановлено, що застосування ферментного препарату Нейтраза сприяє оптимізації протеолітичних процесів, що позитивно позначається на накопиченні розчинного азоту та створює сприятливі умови для підвищення колоїдної стійкості пива. Найбільш технологічно ефективним визначено внесення препарату на стадії затирання, що забезпечує кращу підготовку субстрату до бродіння.

3. Під час вивчення впливу препарату Протеаза у процесі бродіння виявлено специфічну зворотну залежність: незважаючи на зміну ступеня зброджування, підвищення дозування ФП призводить до суттєвого погіршення фізико-хімічних показників готового продукту. Зокрема, зафіксовано різке зниження масової частки спирту (з 4,13% об. до 3,70% об. при збільшенні дози), падіння кислотності та вмісту дійсного екстракту. Через негативний вплив на метаболізм дріжджів та зниження виходу спирту, використання препарату Протеаза у досліджуваних концентраціях визнано недоцільним.

4. При одночасному застосуванні ФП Brewers Clarex та стабілізатора Profix на стадії фільтрування у концентраціях 0,152 ... 0,202 г/дал суса, можна досягнути найкращих прогнозованих показників стійкості пива на 61,11 %.

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПИВА

При оптимізації процесу було складено модель, на яку діють вхідні та вихідні параметри.

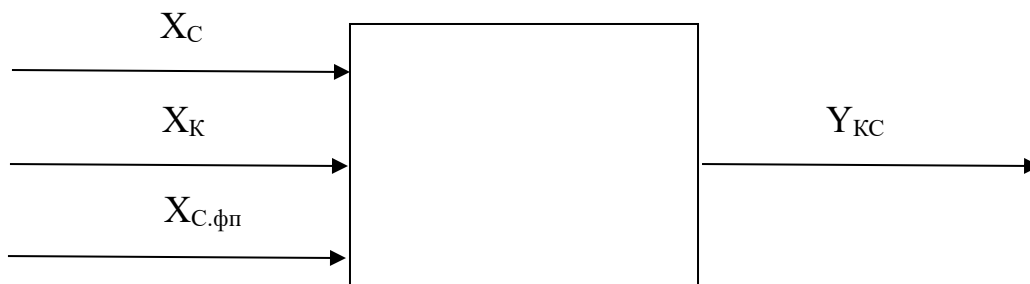


Рис.4.1 – Параметрична модель процесу приготування стійкого до колоїдного помутніння пива в залежності від дози ферментного препарату, кислотності та вмісту сухих речовин у початковому суслі

Математична модель має вигляд рівняння регресії, для оцінки якого застосовували наступні критерії:

- ✓ критерій Кохрена;
- ✓ критерій Стьюдента;
- ✓ критерій Фішера.

У якості змінної стану вибрано показник «Колоїдна стійкість» (КС). На показник колоїдної стійкості в готовому напої впливають наступні показники:

Вхідні:

- ✓ $C_{фп}$ – (доза ферментного препарату)
- ✓ C – (концентрація сухих речовин у початковому суслі, %)
- ✓ K – (кислотність, $см^3$ розчину NaOH концентрацією $1 моль/дм^3$ на $100 см^3$ сусла).

У загальному вигляді функцію можна представити так:

$$KC = f(C, C_{фп}, K)$$

Залежність вихідної функції від вхідних параметрів визначаємо у вигляді полінома першого порядку і виходячи з цього, складаємо рівняння регресії:

$$y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3 + B_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + B_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + B_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + B_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$$

де Y – показник колоїдної стійкості, діб; X_1 - концентрація сухих речовин у початковому суслі, %; X_2 - кислотність, к-ть $см^3$ розчину гідроксиду натрію $0,1N$ який пішов на титрування $1 дм^3$ пива; X_3 – доза ферментного препарату, мг; $B_0, B_1, B_2, B_3, B_{12}, B_{13}, B_{23}, B_{123}$ – коефіцієнти рівняння математичної моделі.

Для проведення дослідів складений план експерименту із вказанням кількості дослідів та меж зміни факторів.

Матриця – перелік варіантів, взятих в ході науково-дослідної роботи. Найбільш простими є матриці повного факторного експерименту, в яких фактори змінюються на двох рівнях – верхньому і нижньому.

Кількість дослідів повного факторного експерименту:

$$N = 2^n = 2^3 = 8,$$

де $n = 2$ – кількість вхідних факторів.

Спланована кількість дублюючих дослідів $m = 2$.

Вихідне рівняння регресії необхідно нормалізувати, тобто перетворити змінні X_i в безрозмірні нормалізовані z_i :

$$z_i = \frac{x_i - x_0}{\Delta x_i}$$

Таблиця 4.1 - Рівні варіювання та крок варіювання факторів

Найменування рівнів варіювання	Позначення	$C_{\text{фп, МГ}}$ (x_1)	$C, \%$ (x_2)	$K, \text{см}^3$ розчину NaOH концентрацією 1моль/дм^3 на 100см^3 суслу (x_3)
Верхній рівень	+	0,6	15,0	4,1
Нуль-рівень	0	0,4	13,5	3,9
Нижній рівень	-	0,2	12,0	3,7
Інтервал	Δ	0,2	1,5	0,2

Кодуємо вхідні параметри:

$$y = B_0 + B_1 \cdot z_1 + B_2 \cdot z_2 + B_3 \cdot z_3 + B_{12} \cdot z_1 \cdot z_2 + B_{13} \cdot z_1 \cdot z_3 + B_{23} \cdot z_2 \cdot z_3 + B_{123} \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$$

Таблиця 4.2 – Матриця плану

№ п/п	z_0	z_1	z_2	z_3	$z_1 \cdot z_2$	$z_1 \cdot z_3$	$z_2 \cdot z_3$	$z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$	Y_1	Y_2	Y	$S^2_{\text{одн}}$
1	+	+	+	+	+	+	+	+	3,4	3,35	3,375	0,00125
2	+	+	+	-	+	-	-	-	2,2	2,3	2,25	0,005
3	+	+	-	+	-	+	-	-	2,4	2,18	2,29	0,0242
4	+	+	-	-	-	-	+	+	2,2	2,35	2,275	0,005625
5	+	-	+	+	-	-	+	-	3,2	3,15	3,175	0,00125
6	+	-	+	-	-	+	-	+	3,0	2,8	2,9	0,02
7	+	-	-	+	+	-	-	+	3,1	3,18	3,14	0,0032
8	+	-	-	-	+	+	+	-	2,8	2,75	2,775	0,00125

Y - середнє значення двох паралельних дослідів Y_{1i} Y_{2i} .

Обробка експериментальних даних

1. Перевірка на однорідність дисперсії вихідної величини

а) розраховуємо дисперсію паралельних дослідів кожного рядка матриці плану за рівнянням

$$S^2_{\text{одн}i} = \frac{\sum_{j=1}^{m=2} (y_{ij} - \tilde{y}_i)^2}{m - 1}$$

де $m=2$ – кількість паралельних дослідів;

i – поточний номер паралельного дослідів, $i = 1, 2$;

y_i – експериментальні значення вихідного параметру за результатами i -го паралельного досліді;

\bar{y}_i – середня значення вихідного параметру за результатами паралельних дослідів.

$$S_{одн1}^2 = \frac{(3,4-3,375)^2+(3,35-3,375)^2}{2-1} = 0,00125$$

$$S_{одн2}^2 = \frac{(2,2-2,25)^2+(2,3-2,25)^2}{2-1} = 0,005$$

$$S_{одн3}^2 = \frac{(2,4-2,29)^2+(2,18-2,29)^2}{2-1} = 0,0242$$

$$S_{одн4}^2 = \frac{(2,2-2,275)^2+(2,35-2,275)^2}{2-1} = 0,005625$$

$$S_{одн5}^2 = \frac{(3,2-3,175)^2+(3,15-3,175)^2}{2-1} = 0,00125$$

$$S_{одн6}^2 = \frac{(3,0-2,9)^2+(2,8-2,9)^2}{2-1} = 0,02$$

$$S_{одн7}^2 = \frac{(3,1-3,14)^2+(3,18-3,14)^2}{2-1} = 0,0032$$

$$S_{одн8}^2 = \frac{(2,8-2,775)^2+(2,75-2,775)^2}{2-1} = 0,00125$$

б) визначаємо найбільше значення $S_{одн,max}^2$ з усіх розрахованих:

$$S_{одн,max}^2 = S_{одн3}^2 = 0,0242$$

Розрахунковий критерій Кохрена

$$G_p = \frac{S_{одн,max}^2}{\sum_{i=1}^N S_{однi}^2}$$

Розраховуємо суму розрахованих дисперсій:

$$\sum_{i=1}^N S_{однi}^2 = 0,061775$$

$$G_p = \frac{0,0242}{0,061775} = 0,392$$

Обираємо табличне значення критерія Кохрена $G_{\text{табл}}$ для значень ступеня вільності $f_1=N=8$ та $f_2=m-1=2-1=1$ та для рівня значущості $\alpha=0,05$ і перевіряємо виконання умови:

$$G_p < G_m, \text{ а саме: } G_p = 0,392 < G_m = 0,6798$$

Дисперсії вихідної величини вважаються однорідними і відрізняються в допустимих межах. Значення вихідних величин є відтворюваними.

2. Розраховуємо дисперсію відтворюваності

$$S_{\text{від}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_{\text{одн}i}^2}{N}$$

$$S_{\text{від}}^2 = \frac{0,061775}{8} = 0,00772$$

3. Розраховуємо коефіцієнти рівняння регресії

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^N z_{xi} \cdot \tilde{y}_i}{N}$$

$$B_0 = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (+1) + 2,29 \cdot (+1) + 2,275 \cdot (+1) + 3,175 \cdot (+1) + 2,9 \cdot (+1) + 3,14 \cdot (+1) + 2,775 \cdot (+1)}{8} = 2,7725$$

$$B_1 = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (+1) + 2,29 \cdot (+1) + 2,275 \cdot (-1) + 3,175 \cdot (+1) + 2,9 \cdot (-1) + 3,14 \cdot (-1) + 2,775 \cdot (-1)}{8} = 0$$

$$B_2 = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (+1) + 2,29 \cdot (-1) + 2,275 \cdot (+1) + 3,175 \cdot (-1) + 2,9 \cdot (+1) + 3,14 \cdot (-1) + 2,775 \cdot (-1)}{8} = -0,0725$$

$$B_3 = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (+1) + 2,29 \cdot (-1) + 2,275 \cdot (-1) + 3,175 \cdot (-1) + 2,9 \cdot (-1) + 3,14 \cdot (+1) + 2,775 \cdot (+1)}{8} = 0,1125$$

$$B_{12} = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (-1) + 2,29 \cdot (+1) + 2,275 \cdot (+1) + 3,175 \cdot (-1) + 2,9 \cdot (-1) + 3,14 \cdot (+1) + 2,775 \cdot (-1)}{8} = 0$$

$$B_{13} = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (-1) + 2,29 \cdot (+1) + 2,275 \cdot (-1) + 3,175 \cdot (-1) + 2,9 \cdot (+1) + 3,14 \cdot (-1) + 2,775 \cdot (+1)}{8} = 0,0625$$

$$B_{23} = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (-1) + 2,29 \cdot (-1) + 2,275 \cdot (+1) + 3,175 \cdot (+1) + 2,9 \cdot (-1) + 3,14 \cdot (-1) + 2,775 \cdot (+1)}{8} = 0,1275$$

$$B_{123} = \frac{3,375 \cdot (+1) + 2,25 \cdot (-1) + 2,29 \cdot (-1) + 2,275 \cdot (-1) + 3,175 \cdot (+1) + 2,9 \cdot (+1) + 3,14 \cdot (+1) + 2,775 \cdot (-1)}{8} = 0,375$$

4. Перевірка на значущість коефіцієнтів регресії:

Коефіцієнт Стюдента:

$$t_{bk} = \frac{|b_k|}{S_k}$$

$$S_k = \sqrt{S_k^2}$$

$$S_k^2 = \frac{S_{\text{eидм}}^2}{N}$$

$$S_k^2 = \frac{0,061775}{8} = 0,00772$$

$$S_k = \sqrt{0,00406} = 0,0879$$

$$t_{b0} = \frac{|2,7725|}{0,0879} = 31,54$$

$$t_{b1} = 0$$

$$t_{b2} = \frac{|-0,0725|}{0,0879} = 0,82$$

$$t_{b3} = \frac{|0,1125|}{0,0879} = 1,28$$

$$t_{b12} = 0$$

$$t_{b13} = \frac{|0,0625|}{0,0879} = 0,71$$

$$t_{b23} = \frac{|0,1275|}{0,0879} = 1,45$$

$$t_{b123} = \frac{|0,375|}{0,0879} = 4,27$$

$t_t=2,31$ ($\alpha=0,05$; $f=8$) оскільки $t_{b12}<t_t$, $t_{b13}<t_t$, $t_{b23}<t_t$, $t_{b123}<t_t$, то ці коефіцієнти не є значущими ними можна знехтувати.

Записуємо в остаточному вигляді отримане рівняння регресії:

$$\hat{Y} = 2,7725 + 0 - 0,0725z_2 - 0,01125z_3$$

5. Перевірка рівняння регресії на адекватність

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{eid}^2}$$

$$S_{ad}^2 = S_{зал}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{y}_i - \hat{Y}_i)^2}{N - 1}$$

де 1 - кількість коефіцієнтів у рівнянні, які стоять перед основними факторами (без подвійних, потрійних і т. д. ефектів) і які залишились після перевірки на їх значущість.

$$\begin{aligned}\hat{Y}_1 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (+1) - 0,01125 (+1) = 2,69 \\ \hat{Y}_2 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (+1) - 0,01125 (-1) = 2,71125; \\ \hat{Y}_3 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (-1) - 0,01125 (+1) = 2,83375; \\ \hat{Y}_4 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (-1) - 0,01125 (-1) = 2,85625; \\ \hat{Y}_5 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (+1) - 0,01125 (+1) = 2,69; \\ \hat{Y}_6 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (+1) - 0,01125 (-1) = 2,71125; \\ \hat{Y}_7 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (-1) - 0,01125 (+1) = 2,83375; \\ \hat{Y}_8 &= 2,7725 + 0 - 0,0725 (-1) - 0,01125 (-1) = 2,71125;\end{aligned}$$

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{8-4} \cdot [(3,375 - 2,69)^2 + (2,25 - 2,71125)^2 + (2,29 - 2,83375)^2 + (2,275 - 2,85625)^2 + (3,175 - 2,69)^2 + (2,9 - 2,71125)^2 + (3,14 - 2,83375)^2 + (2,775 - 2,71125)^2] = 0,4210$$

Розрахунковий критерій Фішера

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{eid}^2} = \frac{0,4210}{0,00772} = 54,534;$$

6. Проведемо денормалізацію рівняння:

$$z_1 = \frac{C \text{ фп} - 0,4}{0,2}$$

$$z_2 = \frac{C - 13,5}{1,5}$$

$$z_3 = \frac{K - 3,9}{0,5}$$

$$K = 2,7725 + 0 \cdot \frac{C \text{ фп} - 0,4}{0,2} - 0,0725 \cdot \frac{C - 13,5}{1,5} - 0,01125 \cdot \frac{K - 3,9}{0,5}$$

7. Загальна похибка експерименту становить:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{Y}_i)}{\bar{Y}_i}$$

$$\Delta = \frac{\quad}{N}$$

$$\Delta = \frac{\frac{|2,69 - 3,375|}{3,375} + \frac{|2,71125 - 2,25|}{2,25} + \frac{|2,83375 - 2,29|}{2,29} + \frac{|2,85625 - 2,275|}{2,275}}{8} +$$

$$+ \frac{\frac{|2,69 - 3,175|}{3,175} + \frac{|2,71125 - 2,9|}{2,9} + \frac{|2,83375 - 3,14|}{3,14} + \frac{|2,71125 - 2,775|}{2,775}}{8} \cdot 100\% = 1,83\%$$

Отримана математична модель дає змогу розрахувати колоїду стійкість з похибкою $\Delta=1,83\%$. За методом повного факторного експерименту складений план з відповідними матрицями планування експерименту і вказанням кількості дослідів та межі зміни факторів. Завдяки статистичній обробці даних отримано рівняння регресії, що є адекватним щодо досліджуваної колоїдної стійкості.

5. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

Метою даної магістерської роботи було дослідження впливу протеолітичних ферментів на колоїдну стійкість пива, за умови внесення їх в різних концентраціях, на різних стадіях технології виробництва пива стійкого до колоїдного помутніння.

За результатами роботи науково обґрунтована можливість застосування ферментних препаратів для отримання пива високої якості та стійкого до помутнінь.

Соціальний ефект від впровадження результатів даної магістерської роботи є досить значним. У результаті обробки пива протеолітичними ферментними препаратами, ми одержуємо стійкий до колоїдних помутнінь продукт, а також покращуємо його органолептичні властивості та якість.

Таблиця 5.1 – Вартість приготування 1 дал пива

Найменування витрат	Одиниці виміру	Витрати на 1 дал	Ціна за одиницю, грн	Вартість 1 дал пива, грн	Вартість 1 дал пива, грн
					З використанням ФП
Без використання ФП					З використанням ФП
Солод	кг	3,0	23,0	69,0	69,0
Хміль	кг	0,0005	4000,0	20,0	20,00
Дріжджі	кг	0,01	3100,0	31,0	31,0
Протеолітичний ферментний препарат Нейтраза	кг	0,002	4 314,04	-	8,62
Вода	м ³	10,0	49,98	499,80	499,80
Вартість приготування 1 дал пива				619,8	508,42

Оскільки ціна на ферментні препарати за теперішнім курсом іноземної валюти є досить високою, то досягти значної економії буде дуже важко, адже ми бачимо, що вартість пива без використання ферментного препарату на 8,62 грн/дал менша, ніж з використанням ФП. Але все ж таки, якщо не використовувати протеолітичні ФП, то виробник такого продукту наражає себе на небезпеку реалізації нестійкого продукту і, як результат, отримання великих збитків.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці на пивоварному підприємстві є складовою системи управління виробництвом і спрямована на забезпечення безпечних та здорових умов роботи для всіх категорій працівників. Пивоварне виробництво належить до харчової галузі, однак технологічні процеси, які його супроводжують, пов'язані з підвищеною небезпекою: використанням високих температур, тиску, хімічних реагентів, потужного механічного обладнання, ємностей значного об'єму, а також систем транспортування сировини, пари, води та охолоджувальних агентів. Усе це вимагає розроблення й суворого дотримання комплексу вимог і заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та аваріям [33].

6.1 Організація системи управління охороною праці на підприємстві

Організація охорони праці на підприємстві здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці», трудового законодавства, галузевих норм і правил, вимог пожежної безпеки, санітарного законодавства, а також внутрішніх інструкцій і стандартів підприємства. Всі працівники проходять вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, повторні та позапланові інструктажі залежно від специфіки виконуваних робіт. До роботи допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, стажування та підтвердження знань з охорони праці та правил експлуатації обладнання.

Виробничі приміщення пивоварного підприємства включають варильний цех, бродильно-лагерний відділ, фільтраційні та розливні лінії, складські та холодильні приміщення, дріжджові станції, допоміжні цехи, котельню, компресорну та аміачну холодильну установку, транспортні ділянки тощо. Кожна з цих ділянок має свої характерні небезпеки, що впливають на умови праці й потребують певних заходів безпеки.

Особливо важливим є дотримання вимог безпеки у варильному та бродильному цехах. У цих приміщеннях працівники контактують із гарячою заторної масою, киплячим суслем, паром, обладнанням високої температури та посудинами під тиском. Варильні казани, гідроциклонні апарати, теплообмінники та трубопроводи повинні мати надійну теплоізоляцію, захисні кожухи та справні запірні механізми. Експлуатація обладнання повинна здійснюватися відповідно до технологічних карт та інструкцій. Забороняється знімати кришки та оглядові люки до повного зниження тиску та температури до безпечного рівня. З метою запобігання опікам працівники забезпечуються спецодягом, термостійкими рукавицями та захисними окулярами.

Не менш важливою ділянкою з точки зору охорони праці є відділення бродіння та доброджування. Ємності для бродіння, лагерні танки й циліндроконікапсули мають великий робочий об'єм і працюють під надлишковим тиском вуглекислого газу, який активно виділяється в процесі ферментації. У приміщеннях можливе накопичення CO₂, який є небезпечним для здоров'я, тому вентиляція повинна забезпечувати постійний повітрообмін. У місцях можливого підвищення концентрації газу встановлюються стаціонарні газоаналізатори. Всі

роботи усередині резервуарів можуть виконуватися лише після їх повної дегазації та провітрювання, у присутності відповідальної особи та за наявності наряду-допуску. Робота всередині танків проводиться у страхувальних поясах та із засобами захисту органів дихання, оскільки навіть незначні залишкові концентрації CO₂ можуть становити загрозу.

Окремо слід відзначити небезпеки, пов'язані з експлуатацією аміачної холодильної установки, яка є невід'ємною частиною пивоварного виробництва. Аміак як холодоагент належить до токсичних та вибухонебезпечних речовин. Для його безпечного використання всі холодильні машини повинні регулярно проходити технічний огляд, перевірку герметичності, профілактичне обслуговування та ремонт. Приміщення холодильного відділення обладнуються системами аварійної вентиляції, датчиками витоку аміаку та засобами хімічного захисту. Персонал, який працює у таких приміщеннях, повинен мати спеціальну підготовку та вміти користуватися протигазами, ізолювальними костюмами і засобами знешкодження аміаку. У разі витоку необхідно негайно розпочати евакуацію людей і викликати аварійну службу.

Підвищену небезпеку також становлять транспортні процеси на підприємстві: подача зернової сировини, робота з солодом, переміщення тари та готової продукції, експлуатація автотранспорту, гідравлічних візків і транспортерів. Усі робітники, що керують транспортними механізмами, повинні мати відповідну кваліфікацію та посвідчення. Місця руху транспорту позначаються розміткою і дорожніми знаками всередині виробничих приміщень. Забороняється перебувати в небезпечних зонах дії підіймально-транспортного обладнання, а також здійснювати ремонт чи обслуговування механізмів без їх повного знеструмлення [33, 34].

6.2 Електробезпека

Важливу роль у забезпеченні безпеки праці відіграє дотримання правил електробезпеки. Пивоварні підприємства використовують значну кількість електроприводів, насосів, компресорів, контролерів і систем автоматизації. Електричне обладнання повинно проходити регулярні вимірювання опору ізоляції, перевірку заземлення та огляд розподільчих щитів. Усі роботи на електрообладнанні можуть проводити лише працівники, які мають відповідну групу допуску з електробезпеки. Забороняється експлуатувати прилади із пошкодженою ізоляцією або відкритими струмоведучими частинами. У разі аварійного відключення необхідно негайно повідомити відповідальну особу та зафіксувати подію в журналі.

6.3 Пожежна безпека

Особлива увага приділяється пожежній безпеці. Пивоварне підприємство використовує газові котли, парові системи, електropечі, горючі матеріали, зокрема солод та допоміжні компоненти. Усі приміщення мають бути оснащені пожежною сигналізацією, системами оповіщення, вогнегасниками, гідрантами і планами евакуації. Відповідальні особи зобов'язані регулярно проводити

протипожежні тренування та інструктажі. Забороняється захаращувати проходи, блокувати доступ до пожежних кранів, зберігати горючі речовини біля нагрівальних приладів або проводити зварювальні роботи без відповідного дозволу.

6.4 Санітарно-гігієнічні умови

Санітарно-гігієнічні умови праці також мають важливе значення, адже працівники перебувають у середовищі з підвищеною вологістю, температурою та рівнем шуму. Вентиляційні системи мають забезпечувати нормований мікроклімат, а рівень шуму біля компресорів, насосів та інших механізмів не повинен перевищувати встановлені норми. У разі необхідності працівникам видаються навушники або інші засоби захисту слуху.

Підприємство зобов'язане забезпечити працівників засобами індивідуального захисту: спецодягом, рукавицями, касками, захисними окулярами, протекторним взуттям, засобами захисту органів слуху та дихання. У разі зношення або пошкодження засоби мають бути замінені. Працівники зобов'язані використовувати їх відповідно до інструкцій.

У системі охорони праці важливе місце займає медичний контроль. Працівники, діяльність яких пов'язана з підвищеною небезпекою або контактом з харчовими продуктами, повинні проходити медичні огляди у визначені терміни. Це дозволяє запобігти професійним захворюванням і контролювати загальний стан здоров'я персоналу.

6.5 Санітарні умови праці у лабораторії

Окреме місце у системі охорони праці на пивоварному підприємстві займає лабораторія, що здійснює хімічний, фізико-хімічний і мікробіологічний контроль якості сировини, проміжних продуктів і готового пива. Лабораторія класифікується як спеціалізований підрозділ, у якому використовуються хімічні реактиви, обладнання з нагрівальними елементами, автоклави, газові балони, стробоскопічні та електронні прилади, а також скляний посуд, що потребує особливих умов використання. Вимоги до таких приміщень включають дотримання державних стандартів та будівельних норм при проектуванні, реконструкції чи ремонті лабораторних приміщень, забезпечення їх системами загальнообмінної та місцевої вентиляції, облаштування витяжних шаф у зонах, де можливе утворення шкідливих парів чи аерозолів, а також виконання заходів пожежної безпеки та наявність первинних засобів пожежогасіння.

Зберігання реактивів та матеріалів у лабораторії має здійснюватися з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей, сумісності та класу небезпеки. Усі речовини повинні зберігатися у спеціальних маркованих шафах, у герметичній тарі та з дотриманням температурного режиму. Особлива увага приділяється легкозаймистим, вибухонебезпечним і токсичним речовинам: їх зберігають у спеціалізованих металевих шафах, у мінімально необхідній кількості. Балони з технічними газами повинні бути надійно закріплені, розташовані вертикально,

перевірені у встановлені терміни та використовуватися лише з відповідними редукторами і запобіжними пристроями.

Працівники лабораторії під час роботи з хімічними речовинами та обладнанням зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту — лабораторні халати, рукавички, захисні окуляри, у разі потреби — респіратори чи маски. Робота з концентрованими кислотами, лугами, окисниками та іншими небезпечними речовинами повинна здійснюватися лише у витяжних шафах із справною вентиляцією. Експлуатація автоклавів, стерилізаторів, термостатів і нагрівальних приладів передбачає спеціальний порядок перевірки, інструктаж, а також дотримання вимог щодо уникнення перегріву, надмірного тиску та термічних опіків.

На підприємстві повинна систематично проводитися навчально-інструктажна робота щодо безпечних методів праці. Усі працівники лабораторії, як і виробничих підрозділів, проходять вступний, первинний та періодичні інструктажі, а також обов'язкове навчання з охорони праці та пожежної безпеки. До роботи допускаються лише ті працівники, які підтвердили знання вимог безпечної роботи й пройшли необхідні медичні огляди. Посадові особи, відповідальні за організацію безпечної роботи, повинні проходити періодичну перевірку знань, а роботодавець має забезпечувати створення умов для проведення таких навчань та їх документальне оформлення.

Контроль за виконанням вимог охорони праці здійснюється як роботодавцем, так і уповноваженими державними органами. На пивоварному підприємстві цю функцію виконує служба охорони праці, яка контролює стан виробничого обладнання, наявність і справність систем вентиляції, правильність зберігання реактивів у лабораторії, а також дотримання працівниками встановлених правил. У разі виникнення порушень роботодавець зобов'язаний уживати заходів щодо їх негайного усунення. Працівники мають право на безпечні умови праці та інформування про можливі ризики, а роботодавець несе відповідальність за створення таких умов і забезпечення засобами захисту.

6.6 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень регулюється відповідно до теплових характеристик приміщення, категорії робіт за рівнем фізичної важкості та сезону.

Параметри мікроклімату включають температуру повітря (T , °C), відносну вологість (ϕ , %) та швидкість руху повітря (V , м/с). Значні зміни цих показників можуть порушувати процес терморегуляції організму, тобто його здатність підтримувати постійну температуру тіла, що, у свою чергу, може спричинити проблеми зі системою кровообігу та загальне ослаблення. Ці характеристики безпосередньо впливають на фізіологічні функції організму, зокрема його терморегуляцію, і формують загальне самопочуття людини. Температура тіла повинна залишатися стабільною в межах 36-37°C, незалежно від умов праці. Вологість відіграє важливу роль у теплообміні, особливо через випаровування. Оптимальний рівень відносної вологості знаходиться в діапазоні 40-60%, що

забезпечує комфортні метеорологічні умови під час відпочинку або легкої фізичної активності [33, 34].

6.7 Висновки та пропозиції

Для створення комфортних і безпечних умов варто передусім гарантувати якісну ізоляцію робочих поверхонь та організувати надходження свіжого повітря через ефективну вентиляційну систему. З метою мінімізації ризиків травмування та запобігання небезпечним ситуаціям слід підтримувати обладнання в справному стані, а також забезпечити дотримання персоналом затверджених правил і інструкцій щодо його користування й експлуатації. Крім того, важливо регулярно проводити інструктажі відповідно до чинної документації, своєчасно здійснювати заміну та ремонт обладнання і суворо дотримуватися вимог чинного законодавства в сфері охорони праці.

7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Система цивільного захисту на пивоварному підприємстві є комплексом організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, пожежно-профілактичних та інженерних заходів, спрямованих на захист працівників, виробничих фондів, технологічних процесів та довкілля від впливу небезпечних чинників надзвичайних ситуацій техногенного, природного або соціального характеру. У межах пивоварного виробництва, яке характеризується наявністю складного технологічного обладнання, високотемпературних зон, систем під тиском, ємностей зі зрідженими газами, високою вологістю та застосуванням хімічних реагентів (санітарних мийних засобів, кислот, лугів), питання цивільного захисту посідає ключове місце в загальній системі управління ризиками [31].

Вступний інструктаж із питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях є першою та обов'язковою ланкою формування безпечної поведінки працівників. Він проводиться з усіма новоприйнятими співробітниками, а також з особами, які прибувають на підприємство для виконання тимчасових робіт, стажування чи виробничої практики. Основною метою інструктажу є ознайомлення із завданнями, вимогами та структурою системи цивільного захисту підприємства, специфікою організації безпечної роботи у виробничих умовах, а також набуття початкових компетентностей, необхідних для адекватного реагування на потенційні загрози. Працівники отримують знання щодо основних небезпечних факторів, які можуть виникати у виробничому середовищі, порядку дій у разі виникнення аварій чи надзвичайних ситуацій, а також методів користування засобами індивідуального та колективного захисту та первинними засобами пожежогасіння.

Враховуючи складність технологічного циклу пивоварного виробництва, працівники повинні розуміти характер потенційних небезпек, пов'язаних із експлуатацією електричного та теплотехнічного обладнання, роботою системи паропостачання, використанням компресорного обладнання, насосів, бродильних танків та резервуарів, що працюють під тиском. Несправні мережі та комунікації, порушення правил експлуатації обладнання, відсутність контролю за санітарними реагентами, порушення температурно-технологічних режимів можуть створювати умови для виникнення аварійних ситуацій, вибухів, займання або викидів токсичних речовин. Тому знання правил техногенної та пожежної безпеки мають принципове значення для запобігання надзвичайним ситуаціям.

У практиці цивільного захисту важливим є усвідомлення працівниками ключових понять, зокрема аварійної ситуації, аварії, небезпечної події, надзвичайної ситуації, евакуації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Для пивоварного виробництва аварійною ситуацією може вважатися, наприклад, порушення герметичності бродильного апарата, часткове виходження технологічної мережі з робочого режиму або локальне перевищення тиску, яке не переходить у масштабну аварію. Натомість аварія передбачає вже реальну загрозу життю або здоров'ю працівників, що може супроводжуватись руйнуванням обладнання, викидами парів чи шкідливих речовин або значними

матеріальними збитками. Надзвичайна ситуація в контексті пивоварного підприємства може виникнути внаслідок пожежі, вибуху, прориву трубопроводу зі зрідженим діоксидом вуглецю, аварії котла, масштабного затоплення виробничих приміщень або стихійного лиха, що спричинило порушення нормальної діяльності підприємства.

На пивоварному підприємстві визначено перелік прав і обов'язків працівників у сфері цивільного захисту, який передбачає як можливість отримання необхідної інформації про загрози, доступ до засобів індивідуального та колективного захисту, так і обов'язок дотримуватися вимог техніки безпеки та правил поведінки в екстремальних умовах. Працівники повинні знати, яким чином діяти у разі виявлення небезпечної події, яким чином передати повідомлення до екстрених служб, де розміщено шляхи евакуації та пункти збору. Важливим елементом підготовки є формування навичок надання домедичної допомоги потерпілим до моменту прибуття фахівців, особливо враховуючи ризики травмування, опіків, ураження електричним струмом або отруєння хімічними засобами, які потенційно можливі на виробництві.

Захист працівників від небезпечних факторів на підприємстві забезпечується як засобами колективного, так і засобами індивідуального захисту. До засобів колективного захисту належать захисні споруди, зокрема сховища, протирадіаційні укриття, споруди подвійного призначення та найпростіші укриття. Хоча пивоварне виробництво не належить до категорії підвищеної техногенної небезпеки з точки зору радіаційного чи хімічного забруднення, наявність таких об'єктів у структурі підприємства забезпечує захист персоналу у випадках військових загроз, техногенних аварій широкого масштабу або надзвичайних ситуацій природного характеру.

Індивідуальні засоби захисту працівників застосовуються для захисту органів дихання та шкіри від токсичних речовин, пилу, аерозолів чи газів, які можуть утворюватися під час аварійних ситуацій або при значних порушеннях технологічного процесу. До таких засобів належать фільтруючі та ізолюючі протигази, респіратори та інші захисні пристрої. Хоча в нормальних умовах пивоварне виробництво не передбачає регулярного використання протигазів, вони повинні бути доступними та справними у випадку аварії на аміачній холодильній установці (за її наявності), значного викиду CO₂ з ємності ферментації або інших небезпечних ситуацій, пов'язаних із можливими хімічними інцидентами. Працівники повинні знати базові принципи користування такими засобами, порядок перевірки герметичності маски, правила надягання та алгоритм дій у разі необхідності їх використання.

Важливою складовою цивільного захисту є ідентифікація джерел небезпеки на території підприємства. До них належать несправні або зношені електромережі, обладнання, що працює під тиском, системи газопостачання та тепlopостачання, рухомі механізми, транспортні засоби, токсичні речовини, а також помилки персоналу. У пивоварній галузі особливу увагу приділяють роботі з ємностями, які перебувають під внутрішнім тиском, оскільки неконтрольоване різке зростання тиску може спричинити раптовий розрив

апарата. Крім того, у виробничих приміщеннях з наявністю електродвигунів та високої вологості збільшується ризик короткого замикання та займання. Значні небезпеки створюють і технологічні зони, де використовується CO₂, оскільки у великих концентраціях він може витіснити кисень та створювати небезпеку для працівників у низькорозташованих приміщеннях.

Пожежна безпека у структурі цивільного захисту займає особливе місце, оскільки пивоварне виробництво містить ряд потенційних джерел займання. Серед них – електричні щити, двигуни насосів, компресорів, зернопереробне обладнання, наявність пилу в солодовні, використання теплообмінних апаратів та котлів. Згідно з вимогами пожежної безпеки всі електроприлади повинні використовуватися лише в справному стані, а будь-які пошкодження комунікацій потребують негайного усунення. Первинні засоби пожежогасіння – вогнегасники, пожежні щити, пісок, вода – повинні бути в доступних місцях та регулярно перевірятися. Працівники мають чітко знати алгоритм дій у разі пожежі: повідомлення керівництва та служби 101, організація безпечного виходу людей, локалізація займання первинними засобами за наявності такої можливості.

Особливого значення набуває порядок роботи з відкритим вогнем, зокрема проведення зварювальних робіт або ремонтів, що передбачають нагрівання матеріалів. Такі роботи дозволяються лише за письмовим дозволом керівника підприємства, з дотриманням усіх протипожежних заходів та наявністю відповідальних осіб, під контролем яких здійснюється процес. Недотримання правил поводження з відкритим вогнем у виробничих приміщеннях, де зосереджене значне обладнання та комунікації, може призвести до масштабних наслідків.

Таким чином, система цивільного захисту на пивоварному підприємстві є невід’ємною складовою забезпечення безперервності технологічного процесу, збереження життя і здоров’я працівників та мінімізації наслідків можливих надзвичайних ситуацій. Комплексний підхід, що включає навчання персоналу, розробку планів реагування, забезпечення захисними спорудами та засобами індивідуального захисту, підтримання пожежної безпеки та контроль за технічним станом обладнання, створює передумови для стабільної та безпечної роботи підприємства навіть у умовах підвищених ризиків [31].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Для вирішення проблеми низької стійкості пива застосовується комплексний підхід, що охоплює хімічні, фізико-хімічні, ферментативні та механічні методи. На етапі солодощення і сушіння важливим є тривале холодне солодощення, яке забезпечує глибоке розчинення зерна, та інтенсивне сушіння солоду. Під час варіння сусла слід уникати тривалої білкової паузи, забезпечувати повне оцукрювання, запобігати надмірному вилужуванню екстрактивних речовин і проводити довготривале інтенсивне кип'ятіння для ефективного осадження білків. Додаткове підкислення гарячого сусла до рН 5,1–5,2 та повільне внесення хмелю сприяють підвищенню стійкості готового пива.

На стадіях бродіння та дозрівання необхідно забезпечити високий кінцевий ступінь збродження, інтенсивну аерацію сусла, а також холодне й активне бродіння. Фінальна обробка пива передбачає ретельне видалення білкових осадів, холодну стабілізацію (витримку при температурі від –2 до 0 °С протягом 7 діб) і мінімізацію контакту з киснем на всіх етапах виробництва. Сукупна реалізація цих заходів є визначальною для забезпечення високої якості пива, підвищення його колоїдної стійкості та запобігання помутнінню

2. Для вирішення виробничої проблеми помутніння пива та продовження терміну його зберігання застосовують ферментну стабілізацію. У межах магістерської роботи досліджено, наскільки ефективними є різні протеолітичні ферментні препарати (Нейтраза, Протеаза, Brewers Clarex, Profix 6500) у забезпеченні стійкості напою. Результати роботи надають порівняльний аналіз їхньої дії.

3. Використання протеолітичних ферментів для підвищення стійкості пива має значні переваги. Метод не потребує додаткових капіталовкладень в обладнання, зберігає органолептичні характеристики напою та підтримує його антиоксидантний потенціал.

Однак цей метод не позбавлений ризиків. Основний недолік полягає в тому, що ферменти гідролізують не лише білки, які спричиняють помутніння, а й високомолекулярні білки, відповідальні за стійкість і якість піни. Це може негативно вплинути на піноутворення. Крім того, існує ймовірність, що деякі ферментні препарати можуть зберігати активність навіть після пастеризації, а їхнє застосування разом із високоякісним солодом може ускладнювати збереження потрібних показників піни.

4. У ході дослідження було застосовано комплексний аналітичний підхід для порівняльної оцінки ефективності ферментних препаратів. Він включав аналіз динаміки основних показників бродіння та якості пива (видимий екстракт, кислотність, масова частка спирту).

5. Експериментально доведено, що висока стійкість пива до помутніння забезпечується цілеспрямованим застосуванням протеолітичних ферментних препаратів. Зокрема, найефективнішими виявилися:

- використання комплексних препаратів Brewers Clarex (0,177 г/дал) або Profix 6500 (0,202 г/дал) безпосередньо або під час фільтрації.

JITEPATYPA

1. A feniltiokarbamid érzékenység összefüggései a testösszetétellel, valamint a kávé- és teafogyasztással. URL: real-j.mtak.hu+2thebeerthrillers.com+2
2. Antioxidant activity and typical ageing compounds: their evolutions and relationships during the storage of lager beers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 51(9):2026-2026. URL: OUP Academic
3. Application of Enzymes in Brewing. URL: https://www.researchgate.net/publication/323252887_Application_of_Enzymes_in_Brewing
4. Beer-spoilage characteristics of *Staphylococcus xylosus* newly isolated from craft beer and its potential to influence beer quality. URL: PubMed
5. Characterisation of protein-polyphenol interactions in beer during forced aging. URL: <https://doi.org/10.1002/jib.623>
6. Characterisation of protein-polyphenol interactions in beer during forced aging. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jib.623?utm_source=chatgpt.com
7. Ditrych M., Aerts G., Andersen M. L. «Technological strategies for controlling aldehyde formation in beer: a review of brewing-related flavour instability». *BrewingScience*. 2025;78(7/8):77-102. URL: brewingscience.de
8. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35717916/>
9. Effects on beer colloidal stability of full-scale brewing with adjuncts, enzymes, and finings. *European Food Research and Technology*. 2022;249:47–53. URL: SpringerLink
10. Factors Affecting Beer Quality During Storage. URL: <https://doi.org/10.2478/aucft-2024-0001>
11. Flavour Stability of a Cold-Stored Unpasteurized Low-Alcohol Beer Produced by *Saccharomyces ludwigii*. URL: SpringerLink
12. Guido L. F., Ferreira I. M. «The Role of Malt on Beer Flavour Stability». *Fermentation*. 2023;9(5):464. URL: MDPI
13. Haze in Beer: Its Formation and Alleviating Strategies, from a Protein–Polyphenol Complex Angle. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8702196/>
14. Impact of the genetic improvement of fermenting yeasts on the organoleptic properties of beer. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-023-04251-8>
15. Initial microbiological experience in small-scale fruit beer product development. URL: real.mtak.hu
16. Mertens P. Transition metals in brewing and their role in wort and beer oxidative stability. *Journal of the Institute of Brewing*. 2022. URL: <https://www.themodernbrewhouse.com/wp-content/uploads/2022/08/J-Institute-Brewing-2022-Mertens-Transition-metals-in-brewing-and-their-role-in-wort-and-beer-oxidative-stability-a.pdf?utm>

17. Microbiological Instability of Beer Caused by Spoilage Bacteria. . URL: ibd.org.uk+1
18. Microbiological Quality Control in Non- and Low-Alcoholic Beer Manufacturing: A Comprehensive Review of Microbial Contaminants and Strategies for Spoilage Prevention. URL: researchportal.hw.ac.uk
19. Multivariate Analysis of the Influence of Microfiltration and Pasteurisation on the Quality of Beer during Its Shelf Life. URL: MDPI
20. National Center for Biotechnology Information (NCBI). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8702196/>
21. Novocontact. Нейтраза. URL: https://novocontact.com.ua/products/phermments/fermentnye-preparaty-dlya-piva/neytraza-0_8-1/
22. Pectinatus spp. - Unpleasant and recurrent brewing spoilage bacteria. URL: PubMed+1
23. SpringerLink. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-023-04251-8>
24. The Role of Malt on Beer Flavour Stability. URL: <https://doi.org/10.3390/fermentation9050464>
25. The Stability of Hop (*Humulus lupulus* L.) Resins during Long-Period Storage. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/4/936>
26. Wiley Online Library. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jib.623>
27. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2025-17-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 39 с.
28. ДСТУ 3888:2015 «Пиво. Загальні технічні умови» [Чинний від 2015-11-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 16 с.
29. ДСТУ 4282:2018 «Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови» [Чинний від 2019-03-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 31 с.
30. ДСТУ 7067:2009 "Хміль. Технічні умови". [Чинний від 2011-01-07]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
31. Кодекс цивільного захисту України. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
32. Мелетьєв А. Є., Тодосійчук С. Р., Кошова В. М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв : підручник / за ред. А. Є. Мелетьєва. Вінниця : Нова Книга, 2007. 392 с.
33. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. Наказ України від 11.09.2012 № 1192. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1648-12#Text>
34. Про затвердження Типового положення про службу охорони праці. (НПАОП 0.00-4.35-04). Наказ від 15.11.2004 №255 . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1526-04#Text>
35. Ферментний препарат Brewers Clarex. URL: <https://www.dsm-firmenich.com/en/businesses/taste-texture-health/markets->

products/beverage/brewing/brewers-clarex.html?utm_source=google&utm_medium=search_ad&utm_campaign=brewers_clarex_campaign_&utm_term=Beverages_Global&utm_content=product_25092024&utm_vehicle=brewers_clarex_ad&utm_keyword=brewers%20clarex&gad_source=1&gad_campaignid=22977545730&gclid=CjwKCAiAlrXJBhBAEiwA-5pgwpU_PILDA98QWFI_rZ4uGNSn3x6_xTdX39wXw1KSbVf-Df-7kROREBoCV2sQAvD_BwE

ДОДАТКИ

Додаток А. Робоча програма магістерської роботи

Затверджено на засіданні
кафедри біотехнології продуктів
бродіння і виноробства НУХТ,
протокол № ____
від « ____ » _____ 20__ р.
Зав. кафедри _____ Анатолій КУЦ

РОБОЧА ПРОГРАМА

Кваліфікаційної роботи на тему

«ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПИВА»

ВСТУП..... 9

1. СТІЙКІСТЬ ПИВА ТА ФАКТОРИ, ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

- 1.1 Поняття та класифікація стійкості пива
 - 1.1.1 Фізико-хімічна стійкість пива
 - 1.1.2. Колоїдна стійкість
 - 1.1.3. Мікробіологічна стійкість
- 1.2 Вплив сировини на стійкість готового продукту
 - 1.2.1 Зерно та солод
 - 1.2.2 Хміль
 - 1.2.3 Дріжджі
- 1.3. Характеристика ферментних препаратів
 - 1.3.1 β - глюканаза
 - 1.3.2 Амілаза
 - 1.3.3 Протеаза
 - 1.3.4 Додаткові ферменти, що використовуються у пивоварінні
- 1.4 Переваги та недоліки застосування ферментних препаратів
- 1.5 Висновки

2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1 Матеріали досліджень
- 2.2 Методи досліджень
 - 2.2.1 Визначення вологості світлого ячмінного солоду методом прискореного висушування
 - 2.2.2 Визначення екстрактивності стандартним методом
 - 2.2.3 Визначення тривалості оцукрювання

- 2.2.4 Визначення активної і титрованої кислотності
- 2.2.5 Визначення масової частки сухих речовин у пивному суслі за допомогою рефрактометра
- 2.2.6 Визначення амінного азоту йодометричним методом за Попом і Стівенсоном
- 2.2.7 Визначення вмісту мальтози йодометричним методом
- 2.2.8 Визначення кольору візуальним методом колориметричним титруванням
- 2.2.9 Аналіз масової частки спирту і дійсного екстракту. Дистиляційний метод
- 2.2.10 Визначення дійсного та видимого ступеня зброджування
- 2.2.11 Визначення вмісту загально-розчинного азоту
- 2.2.12 Визначення стійкості пива до охолодження
- 2.2.13 Прогнозування стійкості пива (шок-тест)
- 2.2.14 Визначення «чутливих білків» (Sensitive Protein)
- 2.2.15 Визначення вмісту поліфенольних речовин

2.3 Методика досліджень

2.4 Оброблення результатів досліджень

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ КОЛОЇДНОЇ СТІЙКОСТІ ПИВА

3.1 Дослідження впливу ФП Нейтрази на колоїдну стійкість пива

3.1.1 Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її на стадії затирання

3.1.2 Дослідження впливу ферментного препарату Нейтрази при внесенні її перед бродінням

3.2 Дослідження впливу ферментного препарату Протеази при внесенні її перед бродінням

3.3 Дослідження впливу ферментних препаратів Brewers Clarex та Profix при внесенні їх на стадії фільтрування

3.4 Визначення колоїдної стійкості

3.5 Висновки

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПИВА

5. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Організація системи управління охороною праці на підприємстві

6.2 Електробезпека

6.3 Пожежна безпека

6.4 Санітарно-гігієнічні умови

6.5 Санітарні умови праці у лабораторії

6.6 Мікроклімат

6.7 Висновки та пропозиції
7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЛІТЕРАТУРА
ДОДАТКИ

Магістрант

Дмитро МАСЮКЕВИЧ

Керівник, доцент

Роман МУКОЇД

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



**III ФОРУМ
«ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ПРОМИСЛОВОМУ
ТА КРАФТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ:
ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ»**

ПРОГРАМА ТА МАТЕРІАЛИ ФОРУМУ

16-17 ЖОВТНЯ 2025 р.

КИЇВ НУХТ

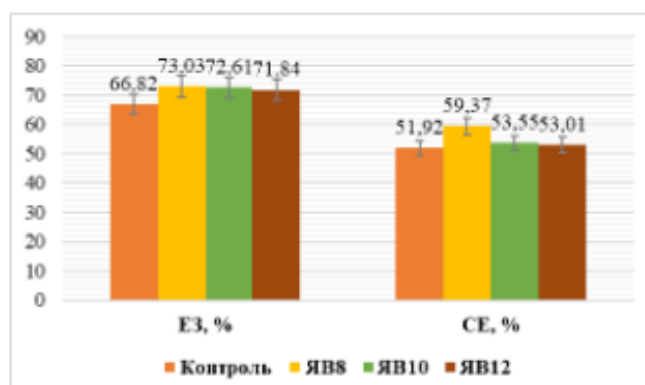


Рисунок 2 - Емульгуюча здатність (ЕЗ) та стабільність емульсії (СЕ) м'ясних модельних фаршів

Висновки. В результаті проведених досліджень було доведено доцільність використання порошку яблучних вичавок як сировини регіонального походження у складі рецептури м'ясних хлібів. Комбінування в рецептурах м'яса качки, курятини і м'яса механічного обвалювання індики з порошком яблучних вичавок у кількості 8 % дозволяє отримати стабільні модельні системи з високими функціонально-технологічними показниками.

Література.

1.Lee, S., Jo, K., Jeon, H., Choi, Y. S., Jung, S. Recent strategies for improving the quality of meat products. *Journal of Animal Science and Technology*. 2023. № 65(5). Pp. 895. <https://doi.org/10.3390/foods9121883>

2.М'ясовмісний хліб «Єлизаветинський»: пат. 121254 Україна: МПК А23L 13/40, А23L 13/60. № а 2018 03072, заявл. 26.03.2018, опубл. 27.04.2020, бюл. № 8.

УДК 663.4

63. СТІЙКІСТЬ ПИВА: КОЛОЇДНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ АСПЕКТИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

Дмитро МАСЮКЕВИЧ магістрант, Роман МУКОЇД, Юрій БУЛІЙ к.т.н.
Національний університет харчових технологій (НУХТ), м.Київ, Україна

Стійкість пива є одним із ключових показників його якості, який визначає термін придатності, збереження зовнішнього вигляду, смаку, аромату та біохімічної стабільності напою протягом усього періоду зберігання [3]. У процесі зберігання пиво зазнає складних фізико-хімічних і колоїдних змін, що можуть призвести до утворення осаду, помутніння, зміни кольору, смакових дефектів та зниження товарного вигляду. Основними чинниками, що впливають на стабільність, є склад сировини, умови бродіння, фільтрації, пастеризації, пакування, а також температура і тривалість зберігання готового продукту [4].

Колоїдна та фізико-хімічна стабільність пива — це здатність напою протистояти процесам агрегації та осадження колоїдних частинок (білково-дубильних комплексів, поліфенолів, металів, вуглеводів тощо), які зумовлюють помутніння або випадання осаду. Особливу роль у цих процесах відіграють білки, поліфеноли, кисень, іони металів, а також залишкові ферменти [1].

Мета роботи: дослідження закономірностей формування колоїдної та фізико-хімічної стійкості пива під час зберігання та визначення основних факторів, які впливають на збереження його якості.

Колоїдна стабільність пива формується на всіх етапах технологічного процесу — від підбору сировини до вибору способу освітлення та фільтрації [3]. Найбільш чутливими

компонентами, що визначають стійкість пива, є білки, поліфеноли, полісахариди та продукти їх взаємодії [5].

Під час зберігання білково-поліфенольні комплекси можуть агрегувати, утворюючи видимі помутніння, які спочатку мають оборотний характер (так зване «холоде»), а надалі переходять у необоротні форми. Утворення помутніння пов'язане з реакціями окиснення фенольних сполук за участю розчиненого кисню, іонів міді, заліза, а також залишкової активності ферментів поліфенолоксидазного типу [1 – 4].

Фізико-хімічна стабільність пива визначається також ступенем насичення киснем, кислотністю, вмістом CO_2 , температурою зберігання та наявністю залишкових редуруючих речовин [6]. Надлишок кисню сприяє окисненню спиртів та ізо- α -кислот, що призводить до появи «старого» присмаку, зниження гіркоти та зміни кольору [1, 2].

На колоїдну стабільність істотно впливають технологічні прийоми:

✓ застосування сировини з низьким вмістом сполук, що спричиняють колоїдне помутніння;

✓ використання технологічних режимів під час отримання суслу і пива, спрямованих на зменшення вмісту в продукті білків, полісахаридів, поліфенолів, оксалатів, кисню;

✓ застосування протеолітичних і амілолітичних ферментів, які здійснюють гідроліз білків і полісахаридів до сполук з меншою молекулярною масою;

✓ інтенсифікація процесу бродіння і своєчасне видалення дріжджів;

✓ доброджування пива за низьких температур [3];

✓ фільтрування пива з використанням марок кізельгуру з різною проникністю [4];

✓ застосування адсорбентів, що видаляють з пива нестійкі високомолекулярні сполуки білкової і фенольної природи, а також їх комплекси;

✓ оптимізація режиму фільтрування, спрямована на наукове обґрунтування співвідношення між окремими фракціями кізельгуру і адсорбентів при намиванні;

✓ пастеризація або мікрофільтрація, що забезпечує мікробіологічну стійкість і запобігає ферментативним реакціям [6].

✓ зниження вмісту кисню в пиві.

Важливою характеристикою колоїдної стабільності є термічна стабільність пива, що визначається шляхом прискореного старіння зразків при підвищених температурах. Зміна мутності після такого випробування дозволяє оцінити потенційну схильність пива до помутніння під час зберігання.

Серед показників фізико-хімічної стійкості пива найважливішими є: колір, кислотність, екстрактивність сухих речовин, ступінь насичення CO_2 , вміст розчиненого кисню, концентрація поліфенолів і білків [3, 6]. Їх стабільність у часі відображає ефективність технологічних заходів, спрямованих на збереження якості.

Проблема стабільності тісно пов'язана також із упаковкою. Використання алюмінієвих банок і пляшок із бар'єрними покриттями, а також інертних газів (азоту, CO_2) при розливі дозволяє суттєво зменшити доступ кисню [6]. Сучасні тенденції у пивоварінні спрямовані на пошук альтернативних натуральних стабілізаторів, наприклад, на основі пектинів, хитозану, біополімерів, які можуть забезпечити екологічність виробництва без зниження якості продукту [5].

Так наприклад, дані різних авторів свідчать, що при зберіганні пива протягом 6 місяців при температурі 20 °C ступінь помутніння зростає в 1,5...2 рази швидше, ніж при 5 °C [4]. Встановлено лінійну залежність між концентрацією розчиненого кисню (0,05...0,5 мг/л) і швидкістю зростання мутності [6].

Також застосування PVPP знижує вміст поліфенолів на 30...40 %, а сумісне використання PVPP і силікагелю — до 60 %, що дозволяє подовжити термін зберігання пива без утворення необоротних помутнень до 9...12 місяців [4, 5].

Дослідження авторів за показниками кольору та кислотності показала, що при правильному підборі стабілізаторів і мінімізації кисню зміни цих параметрів не перевищують 5 % від початкових значень після півроку зберігання [6].

Висновок: колоїдна та фізико-хімічна стабільність пива є комплексним показником,

який формується на всіх етапах технологічного процесу. Найбільший вплив мають взаємодії білково-поліфенольної природи та окисні реакції за участю кисню й металів. Для забезпечення високої стійкості необхідно оптимізувати склад сировини, ефективно видаляти потенційно нестабільні компоненти на стадії освітлення, мінімізувати кисень у готовому продукті, використовувати адсорбційні стабілізатори та сучасні бар'єрні матеріали для пакування.

Підвищення стабільності пива є одним із ключових напрямів розвитку сучасної пивоварної технології, оскільки дозволяє продовжити термін придатності напою, зберегти його сенсорні властивості та знизити технологічні втрати при транспортуванні та реалізації.

Література.

1. De Clippeleer J., Aerts G., De Cooman L. Beer's bitter compounds — a detailed review on iso- α -acids: current knowledge of the mechanisms for their formation and degradation // *BrewingScience*. – 2014. – Vol. 67, No. 11/12. – P. 167–182.
2. Lutz A., Forster A. Influences of the new high alpha hop variety Herkules on beer quality // *Proceedings of the 31st EBC Congress, Venice*. – Nuremberg : Fachverlag Hans Carl, 2007. – P. 145–152.
3. Kunze W. *Technology brewing and malting*. – Berlin : VLB, 2019. – 960 p.
4. Lewis M. J., Young T. W. *Brewing: science and practice*. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2019. – 398 p.
5. Briggs D. E., Boulton C. A., Brookes P. A., Stevens R. *Brewing: science and practice*. – Boca Raton : CRC Press, 2004. – 881 p.
6. Stewart G. G. Beer stability and shelf life // *BrewingScience*. – 2017. – Vol. 70, No. 5. – P. 92–100.

УДК 637.5.05:637.5.034(477)

64. ДОТРИМАННЯ ПРИНЦИПІВ КОНЦЕПЦІЇ НАССР У КРАФТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ НАПІВФАБРИКАТІВ З М'ЯСА ПТИЦІ

Ірина ШЕВЧЕНКО, Вікторія ВОРОНКІНА

Національний університет

харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

Крафтове виробництво напівфабрикатів із м'яса птиці має безліч переваг таких як натуральність, індивідуальність, локальність, але на жаль стикається й з низкою проблем, які можуть впливати на стабільність якості, безпечність і конкурентоздатність зазначених напівфабрикатів. Крім того, багато малих виробництв не мають ресурсів для впровадження повноцінної системи контролю, наслідками чого є: високий ризик мікробіологічного забруднення (*Salmonella*, *Campylobacter*); відсутність простежуваності партій; можливі претензії від контролюючих органів. Крім того, нестабільність якості перероблюємої сировини, що пов'язана з закупівлею птиці у дрібних фермерів без ветеринарного контролю, при наявній відсутності стандартизації порід, віку, умов забою негативно впливає на структуру, колір, вологість м'яса; викликає проблеми зі збереженням консистенції готових напівфабрикатів.

Невеликі підприємства часто не мають сучасного обладнання (шокового охолодження, вакууматорів, дозаторів), що призводить до недотримання температурних режимів; зниження терміну придатності; ризиків вторинного забруднення. Крім того, недостатня кваліфікація персоналу негативно впливає на дотримання гігієнічних правил та сприяє коливанню якості між партіями. Отже, існуючі проблеми з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог потребують комплексного вирішення, тому впровадження системи НАССР на крафтових підприємствах є нагальною задачею, вирішення якої здатне забезпечити безпечність напівфабрикатів із м'яса птиці, базуючись на можливості виявляти, оцінювати та контролювати небезпечні фактори на всіх етапах виробничого ланцюга.

Слід зазначити, що ефективна робота системи НАССР у крафтових цехах залежить від