

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

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

«До захисту В ЕК»

Директор ННІХТ

\_\_\_\_\_ О. В. Кочубей-Литвиненко  
(підпис)

«    » лютого 2021 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри БПБВ

\_\_\_\_\_ А. М. Куц  
(підпис)

«    » лютого 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

із спеціальності **181 «Харчові технології»**  
(шифр та назва спеціальності)

на тему: «Дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність»

Виконав: здобувач 2 курсу,  
групи ТБ-2-7М

Кірічевська Яна Володимирівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

Бондар Микола Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що в цій  
кваліфікаційній роботі немає  
запозичень із праць інших авторів  
без відповідних посилань  
Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Київ – 2021 р.**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра біотехнології продуктів бродіння та виноробства

Освітній ступінь – магістр

Спеціальність – 181 «Харчові технології»

Освітня програма – «Технології продуктів бродіння і виноробства»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри біотехнології  
продуктів бродіння і виноробства

\_\_\_\_\_ А.М. Куц

31 серпня 2020 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

\_\_\_\_\_ Кірічевській Яні Володимирівні \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність»

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Бондар Микола Васильович, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 26 жовтня 2020 року № 872-КС

2. Строк подання роботи \_\_\_\_\_ 31 січня 2021 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 1. Матеріали, зібрані під час переддипломної практики \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2. Методичні рекомендації до виконання магістерських робіт \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 3. Дослідити вплив температур приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 4. Скласти математичну модель процесу і перевірити її адекватність. \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_ Титульний аркуш. Завдання на роботу. Анотація. Зміст. Вступ. 1 Вплив показників показників дріжджів на їх бродильну активність (аналітичний огляд). 2 Об'єкти, методи та методика досліджень. 3 Дослідження впливу температури на бродильну активність дріжджів (експериментальна частина). 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 – 6 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Рисунки з результатами досліджень – 12 \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 20 вересня 2020 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний пошук та підготовка аналітичного огляду за темою дослідження	12.10.20 - 28.10.20	Виконано
2.	Складання планів експериментів, організація робочого місця, підбір і опанування методиками визначення показників якості та статистичної обробки отриманих результатів	29.10.20 – 3.11.20	Виконано
	<b>1-а атестація</b>	<b>4.11.2020</b>	Виконано
3.	Експериментальні дослідження пивного суслу та молодого пива	05.11.20 - 16.12.20	Виконано
4.	Підготовка розділу з охорони праці та погодження його з керівником	18.12.20 - 22.12.20	Виконано
	<b>2-а атестація</b>	<b>23.12.20</b>	Виконано
5.	Підготовка розділу з цивільного захисту та погодження його з керівником	23.12.20 - 30.12.20	Виконано
6.	Оптимізація технологічного процесу	07.01.21 - 13.01.21	Виконано
7.	Розрахунок соціально-економічної ефективності роботи	14.01.21 - 24.01.21	Виконано
8.	Оформлення пояснювальної записки і презентації роботи	25.01.21 - 31.01.21	Виконано
9.	Подання роботи в комісію по перевірці на антиплагіат	30.01.21 - 03.02.21	Виконано
10.	Попередній розгляд роботи на кафедрі	01.02.21 - 07.02.21	Виконано
11.	Отримання зовнішньої рецензії і підготовка до захисту в ЕК	08.02.21 - 10.02.21	Виконано
	<b>Захист роботи в ЕК</b>	<b>Згідно графіку</b>	Виконано

Здобувач \_\_\_\_\_

Я. В. Кірічевська

Керівник роботи, доцент \_\_\_\_\_

М. В. Бондар

## АНОТАЦІЯ

**Кірічевська Яна Володимирівна. «Дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність».** Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 181 «Харчові технології» спеціалізації «Технології продуктів бродіння і виноробства». Національний університет харчових технологій, Київ 2021 рік.

*Мета роботи:* визначення впливу температури приготування і зберігання на бродильну активність пивних дріжджів.

*Об'єкт дослідження:* технологія пивного сусла.

*Предмет дослідження:* раси дріжджів низового бродіння H124b і H124 LDA, пивне сусло та молоде пиво.

У кваліфікаційній роботі наведено результати досліджень пивного сусла та молодого пива.

Досліджено динаміку зміни показників вмісту маси виділеного вуглекислого газу, вмісту віцинальних дикетонів, видимий ступінь зброджування сусла. Було визначено фізико – хімічні показники пива, флокуляційні та фізіологічні властивості дріжджів.

Розроблена математично-статистична модель залежності концентрації мертвих клітин дріжджів від тривалості і температури зберігання.

**Ключові слова:** дріжджі, бродильна активність, температура, молоде пиво, мертві клітини, віцинальні дикетони.

## АННОТАЦИЯ

**Киричевская Яна Владимировна. «Исследование влияния температуры приготовления и хранения пивных дрожжей на их бродильную активность».** Квалификационная работа на соискание степени магистра по специальности 181 «Пищевые технологии» специализации «Технологии продуктов брожения и виноделия». Национальный университет пищевых технологий, Киев 2021.

*Цель работы:* определить влияние температуры приготовления и хранения на бродильную активность пивных дрожжей.

*Объект исследования:* технология пивного сусла.

*Предмет исследования:* расы дрожжей низового брожения H124b і H124 LDA, пивное сусло и готовое пиво.

В квалификационной работе приведены результаты исследований молодого и готового пива.

Исследована динамика изменения показателей содержания массы выделенного углекислого газа, содержания вицинальных дикетонов, видимый степень сбраживания сусла. Было определено физико - химические показатели пива, флокуляционные и физиологические свойства дрожжей.

Разработана математически-статистическая модель зависимости концентрации мертвых клеток дрожжей от продолжительности и температуры хранения.

**Ключевые слова:** дрожжи, бродильная активность, температура, молодое пиво, мертвые клетки, вицинальных дикетоны.

## ANNOTATION

**Kirichevska Yana Volodymyrivna. "Study of the influence of temperature of preparation and storage of brewer's yeast on their fermentation activity".** Qualification work for a master's degree in specialty 181 "Food Technology" specialization "Technology of fermentation products and winemaking." National University of Food Technologies, Kyiv 2021.

*Purpose:* to determine the effect of cooking and storage temperature on the fermentation activity of brewer's yeast.

*Object of research:* technology for making beer wort.

*Subject of research:* race of bottom fermentation yeast H124b i H124 LDA, beer wort and finished beer.

The qualification work presents the results of research of young and finished beer.

The dynamics of changes in the content of the mass of carbon dioxide, the content of vicinal diketones, the apparent degree of wort fermentation was studied. physico - chemical parameters of beer, flocculation and physiological properties of yeast were determined.

A mathematical and statistical model of the dependence of the concentration of dead yeast cells on the duration and storage temperature has been developed.

**Key words:** yeast, fermentation activity, temperature, young beer, dead cells, vicinal diketones.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ НА ЇХ БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ (аналітичний огляд).....</b>	<b>10</b>
1.1 Біологія дріжджів <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	10
1.2 Роль дріжджів у виробництві пива.....	12
1.2.1 Пивні дріжджі та їх основні властивості .....	12
1.2.2 Вплив стресів на пивні дріжджі.....	16
1.2.3 Роль метаболізму пивних дріжджів в пивоварні .....	19
1.2.4 Вимоги, що пред'являються до дріжджів у пивоварінні для забезпечення високої якості продукту.....	21
1.3 Побічні продукти бродіння, які впливають на аромат і смак пива.....	24
1.3.1 Характеристика основних побічних продуктів бродіння та їх роль у формуванні органолептичних показників пива .....	26
1.3.2 Вплив деяких технологічних факторів на якісний та кількісний склад летючих речовин пива .....	33
1.4 Висновки, мета та завдання дослідження.....	40
<b>2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>42</b>
2.1 Програма проведення аналітичних та експериментальних досліджень .....	42
2.2 Матеріали досліджень.....	42
2.3 Методика досліджень .....	43
2.4 Методи досліджень .....	43
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ ДРІЖДЖІВ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА).....</b>	<b>48</b>
3.1 Дослідження впливу низових рас дріжджів на фізико – хімічні показники сула.....	48
3.2 Дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів .....	53
3.3 Дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів .....	57
3.4 Висновки до розділу .....	59
<b>4 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....</b>	<b>61</b>
<b>5 СОЦІАЛЬНО - ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....</b>	<b>67</b>
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>68</b>
<b>7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....</b>	<b>74</b>
<b>ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>79</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>82</b>

					Дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Кірічевська Я.В			<b>ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Н. контролер							8	85
Керівник		Бондар М. В.				НУХТ, ННІХТ, БПБВ, ТБ 2-7М		
Зав. кафедри		Куц А.М.						

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Пивоваріння є однією з найбільш динамічних галузей харчової промисловості і посідає важливе місце в переробній промисловості України. Необхідність виготовлення пива високої якості в короткі терміни і найменш дорогим способом спонукала багатьох виробників використовувати нові та сучасні процеси, які в основному направлені на збільшення продуктивності виробництва, збереження енергії та розширення асортименту. Зокрема, використання вдосконалених способів кип'ятіння суслу, високогустинне пивоваріння, вдосконалені методи бродіння і доброджування, сучасні способи активації дріжджів.

Дріжджі є основною сировиною в технології бродильних виробництв. Головним показником якості дріжджів є їх бродильна активність.

Бродильна активність дріжджів має першочергову важливість для пивоваріння, оскільки від швидкості і повноти зброджування вуглеводів суслу величезною мірою залежить не тільки отримання пива необхідної якості, але й можливість інтенсифікувати тривалі процеси бродіння та доброджування.

Важливим параметром головного бродіння є температура, що не тільки впливатиме на бродильну активність дріжджів, і, як наслідок, ступінь зброджування пива, а й на смакові властивості пива, зокрема вміст віцинальних дикетонів та фізіологічні властивості самих дріжджів.

Тому дослідження, спрямовані на визначення впливу температури приготування і зберігання дріжджів на їх бродильну активність, що сприятимуть збільшенню продуктивності виробництва та отриманню пива високої якості, є актуальними.

**Метою даної роботи** є визначення впливу температури приготування і зберігання на бродильну активність пивних дріжджів.

### **Задачі дослідження:**

1. підбір раси дріжджів для низового бродіння;
2. дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів, а саме ступінь зброджування пива, вміст віцинальних дикетонів, їх фізіологічний стан та флокуляційні властивості;
3. дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів.

**Об'єкт дослідження** – технологія пивного суслу.

**Предмет дослідження** – раси дріжджів H124b і H124 LDA.

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі теоретичних і експериментальних даних встановлено залежність бродильної активності і фізіологічних та флокуляційних властивостей дріжджів від впливу температури приготування і зберігання.

**Практичне значення одержаних результатів.** У результаті експериментальних досліджень встановлено оптимальні температури впливу приготування і зберігання дріжджів раси H124 LDA у суслі з масовою часткою сухих речовин 16 % на бродильну активність, яка у свою чергу впливає на швидкість процесу бродіння та якість готового пива.

**Публікації.** За час виконання кваліфікаційної роботи було опубліковано 1 статтю в міжнародній науковій конференції.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається з 7 розділів, висновків, списку використаної літератури з 40 найменувань, в тому числі 5 іноземними мовами. Робота виконана на 85 сторінках друкованого тексту, містить 10 таблиць і 14 рисунків.

# 1 ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ НА ЇХ БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ (аналітичний огляд)

## 1.1 Біологія дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*

Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* (Мейен, Німеччина, 1838) – одноклітинні мікроорганізми, що належать до еукаріотів і представляють собою порівняно високорозвинені клітини, що містять всі основні клітинні органели та структури [16].

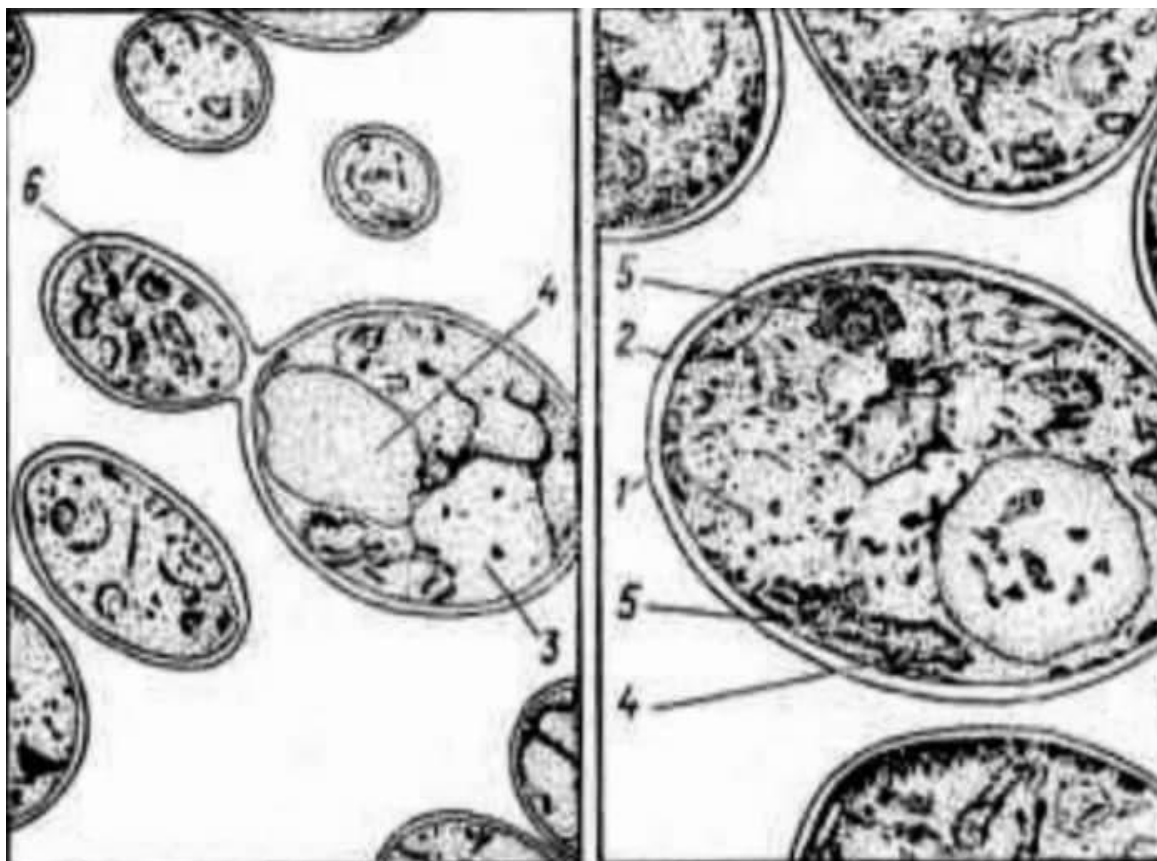


Рис. 1.1. Електронна мікрофотографія дріжджової клітини

*Примітка:* 1 – клітинна стінка; 2 – цитоплазматична мембрана; 3 – цитоплазма; 4 – ядро; 5 – мітохондрії; 6 – брунька.

Клітини *S. cerevisiae* мають округлу або еліпсоїдну форму; розмір їх коливається від 2,5 до 10 мкм. Макроморфологічні ознаки дріжджів *S. cerevisiae* дуже мінливі та сильно залежать від складу середовища та умов культивування, тому мають дуже обмежене значення в ідентифікації дріжджів.

Дріжджова клітина зовні оточена товстою клітинною стінкою завтовшки 25 нм, яка захищає протопласт від осмотичного розриву і надає клітині певної форми. Організація клітинної стінки відповідає моделі тришарової структури, згідно з якою внутрішній глюкановий шар відокремлений від зовнішнього мананового проміжним шаром з підвищеним вмістом білку. До внутрішньої поверхні клітинної стінки прилягає цитоплазматична мембрана (ЦПМ). Вона складається з двох шарів фосфоліпідів, в які занурені білкові молекули. У *S.*

*cerevisiae* основними фосфоліпідами мембран є лецитин, фосфатидилетаноламін і фосфатидилсерин. До складу мембрани дріжджів входять стероїди – ергостабіль, зимостерол та ін. [22].

Білки представлені в основному ферментами, які беруть участь в трансмембранному перенесенні речовин, розщепленні полісахаридів і синтезі позаклітинних структур. Дріжджові клітини, маючи міцну клітинну стінку і напівпрозору цитоплазматичну мембрану, витримують внутрішньоклітинний тиск до 20 атм. Особливість клітин *S. cerevisiae* полягає в тому, що в строго анаеробних умовах вони не здатні синтезувати певні ненасичені жирні кислоти та стирол. Додані в середовище жирні кислоти та стирол вбудовуються у клітинну мембрану, змінюють їх ліпідний склад і тим самим чинять дію на осмотичні властивості, температурну чутливість, поглинання розчинених речовин [6].

У дріжджовій клітині у фазі між діленнями завжди є тільки одне дискретне ядро. Число хромосом в ядрі клітин дріжджів *S. cerevisiae* дорівнює 16. З ядерною і цитоплазматичною мембранами пов'язаний ендоплазматичний ретикулум. Розрізняють два типи ендоплазматичного ретикулуму – гранульований (на зовнішній поверхні його мембран розташовані рибосоми) і гладкий. У області ядра зазвичай розташований комплекс Гольджі, пов'язаний з мембранами ендоплазматичного ретикулуму і ядерною мембраною.

У цитоплазмі знаходяться мітохондрії, число яких варіюється в межах 1–20 в різні періоди зростання і залежить від умов. Фізіологічні та біохімічні дослідження дріжджових мітохондрій показали, що структура ланцюга перенесення електронів, ефективність окислювального фосфорилування, фосфат-акцепторні контролі дихання у них схожі з такими у мітохондрій вищих організмів [13].

У мітохондріях дріжджів є власна мітохондріальна ДНК, апарат білкового синтезу, що включає матричну РНК (рибонуклеїнова кислота) і 70S рибосоми. Дріжджові білки в порівнянні з білками тваринного походження містять менше сірковмісних амінокислот, в основному метіоніну, і більше лейцину та ізолейцину [22, 13].

У фазово-контрастному мікроскопі в клітинах дріжджів добре видно вакуолі. Іноді у вакуолях видно метахроматичні гранули або волютин. Волютин – це резерв поліфосфатів в клітині. Основна функція вакуолей – відокремлення процесів синтезу і розпаду білків, і нуклеїнових кислот, виконують роль депо для зберігання речовин, беруть участь в регуляції гідростатичного тиску.

Клітини дріжджів *S. cerevisiae* можуть жити та рости у двох формах, гаплоїдній та диплоїдній. Гаплоїдні клітини здатні тільки до вегетативного розмноження, при якому клітини дріжджів діляться в результаті мітозу на дві клітини різного розміру (брунькування), а в умовах стресу ці клітини просто гинуть. Диплоїдні клітини також здатні до мітозу і брунькування, але в умовах стресу вони проходять процес спороутворення, мейозу, і утворюють аск з 4 спорами, які проростають у гаплоїдні клітини [13, 19].

Дріжджі за типом живлення є хемоорганогетеротрофами. Під час зростання в аеробних умовах при низькому вмісті глюкози в середовищі дріжджі

отримують АТФ у результаті процесу дихання, як це робить більшість аеробних організмів [11, 24, 35]. За відсутності кисню дріжджі здатні отримувати енергію шляхом бродіння з виділенням спиртів (факультативні анаероби). При анаеробному диханні акцепторами електронів є в основному кисневі неорганічні сполуки. При пропусканні повітря через зброджуваний субстрат дріжджі припиняють бродіння і починають дихати (оскільки цей процес ефективніший), споживаючи кисень і виділяючи вуглекислий газ. Це прискорює зростання дріжджових клітин (ефект Пастера). Якщо вирощувати дріжджі у присутності кисню, але при високому вмісті глюкози в середовищі, то в цьому випадку дріжджі також зброджують глюкозу. Таким чином, глюкоза пригнічує процеси аеробного дихання. Це явище отримало назву ефекту Кребтри, або катаболічної репресії [36].

У процесах метаболізму дріжджів бере участь велика кількість ферментів. У дріжджах діє ряд ферментативних комплексів, з яких головним є зимазний. Технологічне значення ферментів дріжджів полягає також у проведенні процесу спиртового бродіння, утворенні вторинних і побічних продуктів бродіння, що впливають на формування букета і смаку пива, трансформації колоїдної системи суслу та аромоутворюючих компонентів пива [22, 23, 30, 40].

Дріжджі використовують для отримання ферментних препаратів, органічних кислот, полісахаридів, багатоатомних спиртів, вітамінів. Висушені пивні дріжджі використовують для виробництва лікарських препаратів і біологічно – активних добавок (БАД) [11, 19].

Дріжджі є модельним організмом з повністю секвенованим і розшифрованим геномом, з коротким часом генерації, з можливістю генетичних маніпуляцій. За допомогою повної електронної томограми Клодом Антоні з Європейської лабораторії молекулярної біології спільно з Річардом Макінтошем з університету Колорадо вперше було побудовано 3D – зображення еукаріотичної клітини дріжджів, яке дозволяє отримати інформацію про всі структури та процеси, що відбуваються в клітині. Дріжджі застосовують в якості об'єкту досліджень в області біохімії, генетики, мікробіології та молекулярної біології [22]. Дріжджові клітини *S. cerevisiae* є також зручною моделлю в кріобіологічних наукових дослідженнях при вивченні механізмів пошкодження та кріозахисту різних біологічних об'єктів.

## **1.2 Роль дріжджів у виробництві пива**

Пивоваріння належить до найдавніших галузей промисловості. Численні і найбільші відкриття в галузі мікробіології, накопичення теоретичних знань привели до розширення кордонів практичного застосування дріжджів. Вивчення і використання механізму наслідування властивостей дріжджів і особливостей їх обміну речовин сприяли перетворенню пивоваріння в галузь новітньої біотехнології, здатної не тільки досягти відмінних якісних характеристик пива, але і тримати їх на рівні певних стандартів без випадкового падіння якості.

### **1.2.1 Пивні дріжджі та їх основні властивості**

Систематично розрізняють два види пивних дріжджів: верхового і низового бродіння, але кожен з цих видів включає велику кількість штамів, що відрізняються один від одного за морфологічними, фізіологічними та технологічними властивостями.

З морфологічних ознак для характеристики штамів найбільш важливими є розміри клітин, їх форма і однорідність, здатність до утворення псевдоміцелію.

З фізіологічних і біохімічних ознак основними є бродильна, седиментуюча та флокуляційна властивості, особливості флокуляції, швидкісна і кількісна характеристика приросту біомаси, потреба в кисні, утворення основних і побічних продуктів бродіння. Дані властивості безперервно змінюються, тому оцінка дріжджів ґрунтується на великій кількості постійних характеристик [22].

Бродильна активність. Бродильна активність дріжджів характеризується двома ознаками: ступенем і швидкістю зброджування вуглеводів сусла.

За ступенем зброджування низькомолекулярних (НМ) вуглеводів сусла дріжджі ділять на три групи: низько -, середньо - й високозброджуючі, що забезпечують відповідно менше 80%, 80 - 90% і 90 - 100% ступеня зброджування.

Здатність дріжджів зброджувати ті чи інші вуглеводи сусла є однією з характерних ознак раси дріжджів і визначає ступінь зброджування сусла. Переважним цукром в пивному суслі є мальтоза. Відомо, що підвищений вміст в суслі мальтози призводить до збільшення бродильної енергії. У пивному суслі завжди присутня мальтотріоза і ступінь зброджування в великій мірі залежить від того, наскільки глибоко вона зброджена. Дріжджі верхового бродіння зброджують мальтозу і мальтотріозу швидше і глибше, ніж дріжджі низового бродіння, при зброджуванні гексози і сахарози цього явища не спостерігається. Якщо в середовищі є достатня кількість глюкози, відбувається пригнічення механізму утворення  $\alpha$ -глюкозидази, мальтозопермеази і мальтотріозопермеази. Але існують раси дріжджів, у яких глюкозна депресія не відбувається. Що стосується відмінностей в здатності зброджувати вуглеводи, присутні в суслі в незначних кількостях, то виявлені раси пивних дріжджів, які крім моносахаридів, мальтози, сахарози і мальтотріози зброджують ізомальтозу, панозу, ізопанозу, деякі з них - мальтотетраозу, але при цьому не зброджують ізомальтозу.

Швидкість бродіння визначається сукупністю багатьох факторів, в числі яких склад і концентрація сусла, розміри клітин і величина клітинної поверхні в об'ємі сусла, тип флокуляції, хімічний склад клітин, особливо вміст у них азотистих речовин, спосіб бродіння, фізіологічний стан культури: вік, умови зберігання та використання, вгодованість, життєздатність і т. д. [11].

Флокуляційна властивість. Флокуляція має величезне значення в пивоварінні. Вона являє собою оборотну агрегацію (аглотинацію) дріжджових клітин. Це специфічна властивість конкретної раси дріжджів, яка є генетично закріпленою, але може змінюватися в залежності від різних факторів. На флокуляційну здатність впливають склад сусла, норма введення насінневих дріжджів, температура, аерація та інші технологічні чинники.

Відомо, що зброджувані цукри (особливо мальтоза і цукор-сирец) затримують флокуляцію до тих пір, поки їх вміст в середовищі не встановиться на певному рівні. Знижують флокуляційні властивості й всі фактори, що сприяють збільшенню вмісту в суслі зброджуваних цукрів, наприклад, якість ячменю, солоду, концентрація сусла, температура затирання і т. д. Погана флокуляція спостерігається також при нестачі ростових речовин, теплому режимі бродіння, сильному промиванні дріжджів, використанні дріжджів ранньої генерації. Етиловий спирт, присутній в зброжуваному суслі як обов'язковий продукт бродіння, сприяє аглютинації. Це спостерігається при концентрації спирту 1-3%. З подальшим підвищенням концентрації (4-7%) його дію на флокуляцію слабшає і після 8% припиняється зовсім [14, 28].

Важливу роль в явищі флокуляції відводять генетичній природі та будові клітинної оболонки дріжджів. Механізм флокуляції до теперішнього часу остаточно не з'ясований. Встановлено, що здатність до флокуляції багато в чому залежить від складу клітинної оболонки і електричного заряду дріжджів. Оболонка дріжджів містить фосфомананбілковий комплекс, який утворює поверхневий шар клітинної оболонки. Видалення цього шару призводить до різкого зниження флокуляційної здатності. Пилоподібні дріжджі багаті протеолітичними ферментами, які розчиняють клейкий білковий шар, і процес аглютинації порушується. Це призводить до того, що дріжджові клітини не злипаються. З цих причин відбувається більш енергійне розчинення клейких білкових речовин на поверхні клітин при високих температурах, тому що діяльність протеолітичних ферментів посилюється. Помічено також істотне значення іонів кальцію в процесі аглютинації. На думку ряду авторів, механізм аглютинації зводиться до наступного: в експоненційній стадії розвитку дріжджі не флокулюють. Потім, внаслідок часткового розщеплення манану, звільняються карбоксильні групи. У сприятливих умовах (зокрема, в присутності кальцію) звільнені групи двох сусідніх клітин з'єднуються між собою через іон кальцію, утворюючи кальцієво-халатний комплекс, який стабілізується додатковими водневими зв'язками [15, 23].

Розмноження дріжджів. Дріжджові клітини можуть розмножуватися вегетативним і статевим шляхом. В технології пива велике значення має здатність дріжджів розмножуватися вегетативним шляхом - брунькуванням. При цьому в місці утворення бруньки у зовнішній частині клітинної мембрани материнської клітини накопичуються численні частинки манану і білку. При брунькуванні зростає активність ферментів, що розм'якшують мембрану в материнській клітині. Через ЦПМ будівельний матеріал переноситься до місця утворення бруньки, в результаті чого утворюється дочірня клітина, яка пізніше брунькується за таким же механізмом. Кожне брунькування залишає на оболонці клітини рубець [22].

Швидкість розмноження залежить від численних факторів, в числі яких склад і рН сусла, кількість і спосіб задання насінневих дріжджів, температура бродіння, продукти бродіння, вік клітин, наявність кисню. Розмноженню сприяє наявність в суслі всіх необхідних поживних речовин і вітамінів, підвищена температура, наявність кисню, рН середовища. Гальмівну дію на процес ділення

клітин мають спирт, вуглекислота, високі концентрації цукру, збільшення віку дріжджів.

Автоліз дріжджів. Автоліз відбувається в результаті біохімічних процесів розпаду білкових речовин, вуглеводів, жирів і органічних фосфорних сполук цитоплазми і оболонки клітин під дією ферментів. При автолізі життєдіяльність клітин припиняється, але не припиняється діяльність ферментів, які обумовлюють процес автолізу [27]. Активність одних ферментів слабшає, інших - зростає. Як правило, ферменти дихання і бродіння гинуть, а гідролітичні, особливо протеолітичні, активуються.

Автоліз розглядається як нормальна функція клітини і може відбуватися і за цілком сприятливих умовах. Але стимулюють автоліз такі фактори, як нестача поживних речовин, висока температура, недостатня промивка дріжджів, підвищена температура промивної води, перенесення дріжджів з середовища з високою температурою в середовище з більш низькою температурою, токсини цвілевих грибів, що потрапляють з солоду і ячменю, підвищена норма введення дріжджів [22]. Автоліз може відбуватися і при низькій температурі, наприклад, при контакті пива з осадовими дріжджами під час бродіння і доброджування.

Останнім часом більшість зарубіжних і провідні заводи нашої держави відмовляються від зберігання дріжджів під водою і переходять до способу внесення дріжджів з танка в танк, тобто без їх промивання. Основний недолік зберігання під водою - швидкий автоліз, тому що по-перше, клітина два рази відчуває осмотичний шок: перший раз - коли дріжджі переносяться з суслу в воду, другий раз - коли відбувається зворотний процес; по-друге, - при зберіганні під водою клітина голодує і, чим частіше відбувається перемішування і промивка, тим сильніше слабшає клітина [14].

Стійкість дріжджів до автолізу залежить і від тривалості використання у виробництві: чим більше генерація дріжджів, тим менш стійкі вони до автолізу в порівнянні з чистою культурою [10].

Потреба в кисні. Пивні дріжджі відносяться до групи факультативних анаеробів, але вони не можуть рости в умовах повної відсутності кисню. Потребу дріжджів в кисні пов'язують зі здатністю синтезувати стероли і ненасичені жирні кислоти, які не утворюються клітиною в анаеробних умовах. Ці речовини є важливими елементами мембрани клітини. Оскільки в суслі знаходиться достатня кількість ненасичених жирних кислот, особливе значення надається стеролу. Відзначена навіть певна залежність між потребою дріжджів в кисні і природою стеролів, синтезованих в аеробних умовах [10, 15]. При недостатньому рівні вмісту ліпідів погіршується здатність мембрани постачати клітину поживними речовинами, сповільнюється їх розмноження і зменшується життєздатність.

Окремі раси дріжджів вимагають для ефективного приросту біомаси і забезпечення нормального ходу процесу бродіння різну кількість кисню (в середньому 2 - 30 мг/дм<sup>3</sup>). Дослідження кінетики процесу розмноження 2-х штамів пивних дріжджів в залежності від синтезу ергостерину і дисиміляції глікогену встановили відмінності в динаміці утворення нових клітин, використання вуглеводів пивного суслу, синтезу ергостерину, дисиміляції

глікогену в залежності від вмісту кисню в середовищі. Однак, в умовах максимальної аерації при вирощуванні зі струшуванням досягається однакова для всіх рас кількість біомаси дріжджів [16, 19, 28].

Потреба в кисні залежить і від умов попереднього культивування дріжджів. Якщо до бродіння дріжджі перебували в тривалому контакті з повітрям, то вони нормально розвиваються і зброджують пивне сусло незалежно від вмісту кисню в суслі. Якщо ж дріжджі протягом декількох генерацій здійснювали свою життєдіяльність за відсутності кисню, то їх потреба в молекулярному кисні різко зростає. Г. М. Лисюк і Л. В. Пермякова для оптимізації процесу зброджування пропонують проводити короткочасну аерацію дріжджової суспензії з подальшою витримкою в умовах без доступу повітря. Подібна обробка дріжджів перед введенням в сусло підвищує їх бродильну активність, прискорює розмноження клітин в початковій стадії процесу. Тривалість головного бродіння скорочується на 1 - 1,5 діб без погіршення якості пива [10, 15].

Потреба в кисні коливається і в залежності від вмісту в суслі засвоюваного азоту, способу бродіння (наприклад, при бродінні під тиском, в ЦКТ, при щільному бродінні).

### 1.2.2 Вплив стресів на пивні дріжджі

Осмотичний стрес. В даний час широко використовується технологія високогустинного пивоваріння. У цих умовах висока концентрація сусла викликає осмотичний стрес в дріжджових клітинах.

Осмотичний тиск виникає через прагнення води проникнути через напівпроникну мембрану в бік більш концентрованого з двох розділених цією мембраною розчинів. Такий тиск прямо пропорційний концентрації молекул, які не можуть пройти через мембрану. Цитоплазматична мембрана дріжджових клітин характеризується напівпроникливістю щодо води і гідрофільних сполук з високою молекулярною масою. Отже, при низькій концентрації в поживному середовищі сухих речовин в дріжджових клітинах спостерігається гіпоосмотичний стрес, при якому в клітинах збільшується вміст води. У більш концентрованому середовищі (наприклад, в суслі) в клітинах відзначається гіперосмотичний стрес, що призводить до витоку води з клітин. При цьому дріжджі, незалежно від їх штамових морфологічних особливостей, набувають округлу форму і їх поверхня стає зморшкуватою.

Реакція клітин на осмотичний стрес залежить від густини сусла і його вуглеводного складу, фізіологічного стану дріжджів і стадії росту клітин. Клітини, які розмножуються, (лог-фаза зростання) більш чутливі до стресу, ніж клітини, що знаходяться в стаціонарній фазі росту. Це пояснюється різним хімічним складом дріжджів, зокрема, вмістом у них резервних вуглеводів глікогену і трегалози.

Гіперосмотичний стрес, який відчувають клітини в момент їх внесення в поживне середовище, вимагає деякого часу для їх адаптації до цих умов перед процесом розмноження дріжджів. Ця стадія в розвитку клітин називається лаг - фазою. У цей період значно збільшується синтез гліцерол – 3 -

фосфатдегідрогенази, що призводить до збільшення внутрішньоклітинної концентрації гліцерину. Може пройти кілька годин до реєстрації істотного збільшення вмісту внутрішньоклітинного гліцерину.

У звичайних умовах гліцерин може проникнути через цитоплазматичну мембрану, але при гіперосмотичному стресі пори, через які він виходить, закриваються, і гліцерин в період лаг - фази не виділяється в середовище. В процесі бродіння стрес знімається і внутрішньоклітинна концентрація гліцерину зменшується.

Як міру проти цього явища в зброжуючому суслі підвищують вміст металів або збагачують сусло факторами зростання [16, 29].

Етанольний стрес. Спирт утворюється в процесі бродіння, і вплив його на дріжджі визначається як етанольний стрес.

Токсичні властивості етанолу - результат збільшення проникності і пористості клітинної мембрани, що призводить до проблем з транспортом поживних речовин. Крім того, спостерігається дефіцит доступної цитоплазми води. Реакція клітин на вплив етилового спирту в лабораторних умовах проявляється в збільшенні ступеня ненасиченості наявних в цитоплазматичній мембрані жирних кислот, в зростанні вмісту ергостерину, синтезі трегалози і продукуванні специфічних білків термошоку.

При вмісті етанолу в середовищі вище 1,2 % відбувається зниження питомої швидкості росту дріжджів. Концентрація спирту в середовищі від 2 % і більше призводить до зменшення виходу біомаси. Повністю зростання дріжджів пригнічується при наявності 8 - 9,5 % етанолу.

Етанол впливає на тривалість часу генерації дріжджової клітини. Підвищення концентрації етанолу з 0 до 1 % підвищує час генерації приблизно з 2,3 до 3,5 год, а при концентрації етанолу 3,8 % вона становить вже 6,9 год.

Промислові дріжджі в результаті високогустинного пивоваріння піддаються впливу високих концентрацій етанолу. При 23 %-ій екстрактивності початкового сусла об'ємна частка спирту складає більше 9,0 %. Утворений спирт пригнічує як швидкість розмноження дріжджів, так і процес бродіння [36].

Стрес, який викликаний двоокисом вуглецю. При концентраціях, еквівалентних тиску газу понад 0,2 атм., дане з'єднання стимулює ріст клітин. Тиск близько 0,5 атм. пригнічує цикл трикарбонових кислот, але спиртове бродіння триває аж до тиску в 4,0 атм. Розподіл клітин припиняється при тиску від 2,5 до 3,0 атм. При цьому клітини проходять через S-фазу (синтетичну фазу), але не розмножуються брунькуванням, в результаті чого вони мають подвійним складом ДНК і великими, ніж зазвичай, розмірами. При концентраціях двоокису вуглецю відзначається явний його вплив на формування сенсорних характеристик пива, що дозволяють клітинам рости.

Дослідники досі не прийшли до єдиної думки про біохімічний механізм дії двоокису вуглецю [16, 27].

Окислювальний стрес. Щодо здатності дріжджів протистояти окислювальному стресу проведено велику кількість досліджень. У клітин є захисні механізми - на субстратном рівні, наприклад, глутатіон, поліаміни, іони металів та ін., а на ферментному рівні - каталаза, супероксиддизмутаза,

глутатіонпероксидаза, тіоредоксинпероксидаза, а також редуктаза, метіонінредуктаза і ДНК-відновлюючі ферменти. У повному бродінні значення кисневого стресу не таке велике, так як клітини піддаються впливу кисню протягом короткого періоду часу лише на початку бродіння, тому в ході реакцій, що протікають в мітохондріях, в клітини надходить дуже невелика кількість активного кисню, здатного негативно вплинути на життєдіяльність дріжджів.

Як субстрат кисень дуже важливий для біосинтезу ненасичених жирних кислот і ергостерину, необхідних для росту клітин [16, 27].

Температурний стрес. Температура значно впливає на енергетичний і конструктивний обмін клітин і, отже, впливає на питому швидкість росту дріжджів і час генерації (рис.1.1).

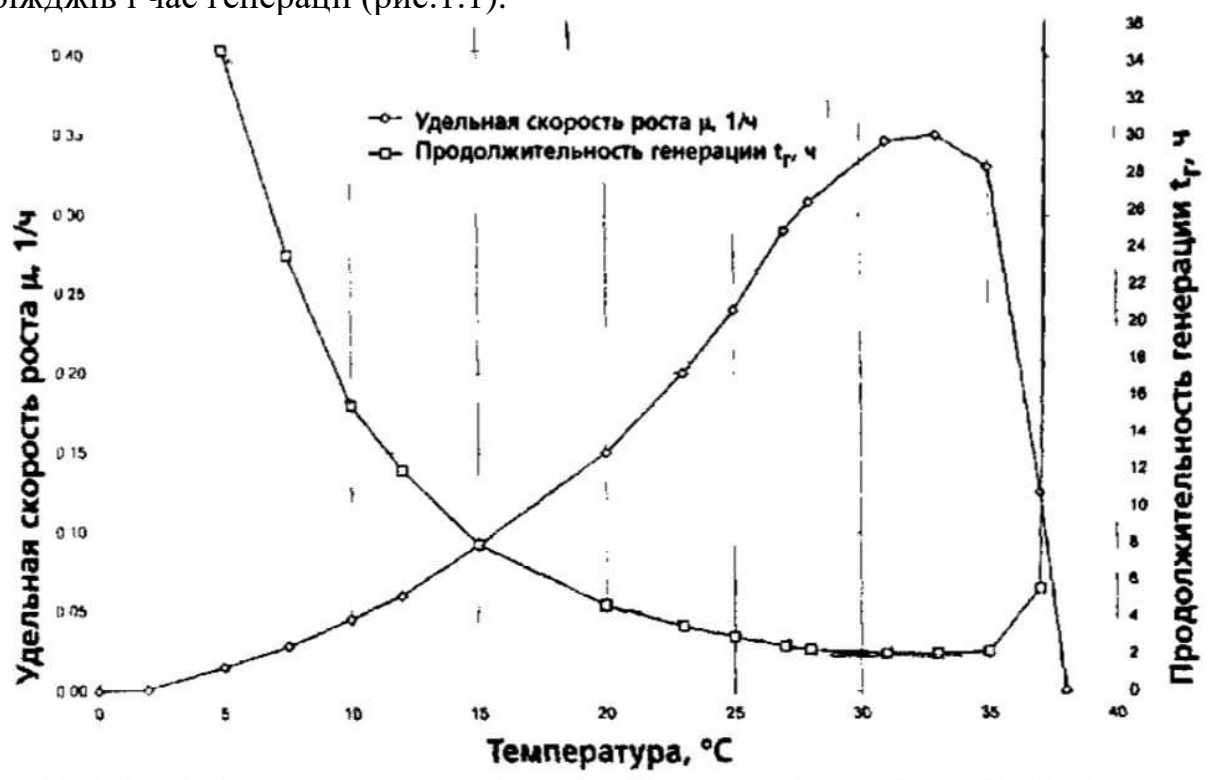


Рис. 1.1. Залежність швидкості росту дріжджів від температури

У певних виробничих умовах клітини можуть відчувати температурний стрес (шок). Цей ефект проявляється, якщо дріжджі на короткий період часу піддати впливу досить високій (але не вище 37 °C) температурі. Стійкість дріжджів до негативних зовнішніх впливів пов'язана з трегалозою, вміст якої в клітині визначається штамовими особливостями дріжджів і умовами культивування.

Встановлено, що клітини, які пережили вплив високих температур, набувають не тільки термостійкості, але також і спирто - й осмостійкості [16].

Інші види стресу. На життєдіяльності дріжджових клітин негативно позначаються [22]:

- різкі коливання величини рН;
- гідростатичний стрес;
- механічний стрес в результаті впливу великих дотичних напружень (насоси, мішалки, регулювальні вентилі).

**Величина рН** впливає на систему транспорту поживних речовин, на ступінь дисоціації компонентів середовища, дисперсність, просторову організацію і активність ферментних білків, на флокуляцію дріжджів.

Оптимальною величиною рН для розмноження клітин певних дріжджів є 4,8, так як при цьому значенні рН фермент транспорту мальтози в клітину - мальтозопермеази - має максимальну активність. При більш низьких рН прискорюється споживання амінного азоту.

У міру підкислення середовища зменшується заряд клітини і спостерігається ослаблення взаємного відштовхування клітин і посилення флокуляції. В цілому дріжджі живуть і розмножуються в широкому діапазоні рН від 2 до 6. Однак різкі коливання цього параметру також можуть позначитися на активності ферментів, порушенні біосинтетичної активності дріжджів і збільшенні кількості мертвих клітин.

**Гідростатичний стрес** спостерігається при збродженні сусла в високих бродильних апаратах (циліндроконічних танках - ЦКТ), висота яких може коливатися від 17 до 22 м. При цьому відбувається зміна проникності клітинних мембран і ферментної активності клітин.

**Механічний стрес** виникає в результаті дії великих дотичних напружень під час перемішування дріжджів, перекачування їх з однієї ємності в іншу за допомогою насосів. Такі механічні операції можуть «обдирати» поверхневий шар клітинної оболонки дріжджів, що знижує флокуляційні властивості клітин. У свою чергу це призводить до порушень процесів бродіння і доброджування, зокрема, не відбувається природного освітлення пива [16, 27].

### 1.2.3 Роль метаболізму пивних дріжджів в пивоварні

Пивні дріжджі здійснюють свої життєві функції шляхом численних і взаємозалежних реакцій, що називають обміном речовин або метаболізмом. Умови зовнішнього середовища істотно впливають на розвиток і життєдіяльність дріжджів. Сприятливий їх вплив призводить до активного росту і розмноження, правильної спрямованості і глибини біохімічних процесів. Несприятливі умови можуть призвести до зміни і втрати властивостей дріжджів в зв'язку з порушенням їх життєдіяльності.

Велике значення в спрямованості та результативності метаболізму всіх мікроорганізмів мають цукри - низькомолекулярні вуглеводи. При їх розщепленні утворюється енергія для здійснення фізіологічних процесів і біологічного синтезу необхідних клітині речовин.

Збродження вуглеводів в етанол і  $\text{CO}_2$  в анаеробних умовах є феноменальною ознакою дріжджів, особливо сімейства *Saccharomyces*. Однак, при зміні умов, а саме, при достатній аерації, дріжджі здатні переходити на окислювальний обмін речовин.

Експериментально доведено, що дріжджі здатні збродувати всі цукри, які вони можуть асимілювати для побудови запасних вуглеводів. Однак пивні дріжджі мають різну швидкість збродження. Це визначається, перш за все, молекулярною масою вуглеводу і характером з'єднань моносахаридів в складних

цукрах, а також специфічною здатністю до асиміляції вуглеводів використовуваного штаму дріжджів [33]. Дріжджі верхового і низового бродіння зброджують лише моно-, ди- і трисахариди.

Швидше за всіх зброджуються глюкоза і фруктоза. З дисахаридів легко зброджуються мальтоза і сахароза після їх гідролітичного розщеплення на гексози під дією відповідних гідролаз дріжджів. Сахароза зникає в суслі на початку бродіння, мальтозу дріжджі починають споживати тоді, коли фруктози і глюкози в суслі майже не залишається. Мальтотріозу дріжджі зброджують пізніше, ніж мальтозу, частково - при головному бродінні і повільно - при доброжуванні. Швидкість зброджування мальтози або мальтотріози залежить від концентрації цукрів у суслі: чим менша концентрація, тим вища швидкість зброджування. Мальтотетраоза, ізомальтоза і більш високі полімери глюкози, а також пентози пивними дріжджами не зброджуються. Однак, методами селекції або спрямованої мінливості отримують раси дріжджів з різною здатністю до утворення окремих вуглеводів [8].

У вуглеводному обміні речовин важлива роль належить глікогену, який є важливим джерелом енергії для дріжджів в останній стадії бродіння, коли зброджувані вуглеводи в середовищі вже витрачені. Вміст глікогену в дріжджах залежить від умов бродіння - температури, норми введення дріжджів, аерації сусла, його складу і від властивостей раси дріжджів [19].

Для синтезу компонентів, що забезпечують зростання і розмноження, дріжджові клітини споживають азотовмісні сполуки сусла (амонійні сполуки, амінокислоти, дещо гірше дипептиди і в дуже незначній кількості трипептиди) [69], причому вони можуть споживати амінокислоти сусла і синтезувати всі необхідні амінокислоти, використовуючи неорганічний азот [10].

Амінокислоти можуть засвоюватися дріжджами, як прямою асиміляцією, так і шляхом дезамінування або трансамінування. Швидкість прямої асиміляції різних амінокислот дріжджами неоднакова, тобто у дріжджів є виборча здатність. При відсутності в середовищі деяких необхідних амінокислот частина з наявних дезамінується або трансамінується, і з азоту, який дріжджі отримали з швидкозасвоєваних амінокислот, повільно синтезуються необхідні дріжджам амінокислоти. У зв'язку з цим вважають, що сусло не повинно містити засвоєваних амінокислот більше, ніж дріжджі можуть використовувати їх, тому що кількість амінокислот сильно впливає на утворення побічних продуктів бродіння, відповідальних за аромат пива. Виділені з дріжджів азотисті речовини надають пиву оксамитову консистенцію і сприяють повноті смаку.

Азотистий вуглецевий обмін дріжджової клітини має важливе практичне значення, тому що з ним пов'язані основні зміни в складі сусла, молодого та зрілого пива, що виражаються у формуванні аромату і смаку, насиченості пива діоксидом вуглецю, піноутворенні, стабілізації колоїдної системи, підвищенні кислотності.

Ароматичні речовини, які утворюються під час бродіння, є продуктами амінокислотного і жирового обміну речовин дріжджової клітини. У пиві вони представлені вищими спиртами, ефірами, органічними кислотами, карбонільними сполуками, а також деякими сірчистими сполуками. Склад і

властивості ароматичних речовин пива, біосинтетичний механізм утворення їх представляють великий інтерес для пивоварів, тому що від наявності цих сполук в значній мірі залежить якість готового пива.

В ході зброджування сусла відбувається підвищення активної кислотності молодого пива, обумовлене утворенням вуглекислоти і органічних кислот, а також зміною буферної системи сусла внаслідок зменшення кількості азотистих речовин і фосфатів дріжджами, крім того - виділенням із сусла хмельових емульсій і гірких речовин хмелю [5, 20]. За даними Бамфорта й Сімпсона в процесі бродіння дріжджі здатні змінювати рН середовища двома способами: по-перше, вони виділяють кислі продукти ( $\text{CO}_2$  і органічні кислоти), по-друге, вони асимілюють кислоти і основи з сусла і перетворюють їх в з'єднання із зміненими іонними властивостями [6]. Кут і Кірсоп відкидають теорію видалення дріжджами з сусла буферних речовин. Вони зробили висновок, що пряме виділення іонів водню є найбільш вірогідним поясненням рН пива. Роу з співавторами показали, що пивні дріжджі підтримують постійний внутрішньоклітинний рН близько 6,3, при цьому знижуючи рН сусла до рН пива. Здатність дріжджових клітин підтримувати постійне внутрішньоклітинне значення рН є критерієм їх стану і життєздатності.

Відомо, що органічні кислоти утворюються на стадії аеробного обміну речовин - дихання, при цьому якісний і кількісний склад кислот, що утворюються, визначається видом і штамом використовуваних дріжджів. Зниження величини рН від сусла до пива має велике технологічне значення, воно сприяє:

- створенню несприятливих умов для життєдіяльності мікроорганізмів - шкідників пивоварного виробництва, тобто підвищенню біологічної стійкості пива;

- підвищенню колоїдної стабільності і стійкості пива внаслідок зниження розчинності при низьких значеннях рН багатьох високомолекулярних білків і білково-поліфенольних комплексів, які обумовлюють схильність пива до колоїдних помутнень;

- поліпшенню смаку пива.

#### **1.2.4 Вимоги, що пред'являються до дріжджів у пивоварінні для забезпечення високої якості продукту**

Смакові особливості і стійкість є основними показниками якості пива. Коливання якості можуть бути викликані технологією і характеристикою сировини, в тому числі дріжджів. Швидкість і характер змін, що відбуваються при зброджуванні сусла під дією пивних дріжджів, визначаються генетичною спадковістю дріжджів. Крім цього, метаболізм дріжджових клітин в значній мірі залежить від приготування та ведення культури дріжджів, технології та умов проведення процесів бродіння. Можуть змінюватися такі характеристики, як інтенсивність розмноження, здатність до флокуляції, швидкість розброджування, зниження рН, загальна тривалість процесу бродіння, спектр ароматів та ін.

У зв'язку з цим вважається за доцільне обирати раси дріжджів, що забезпечують отримання готового продукту з необхідними фізико-хімічними та органолептичними показниками.

Проводячи аналіз літературних даних [28], можна виділити наступні основні вимоги, що пред'являються до пивних дріжджів на сучасному етапі розвитку пивоварної галузі:

- висока бродильна активність і швидке зброджування цукрів сусла;
- висока флокуляційна здатність, повільне і повне осідання, що забезпечує освітлення молодого пива в кінці головного бродіння і готового пива в кінці доброджування;
- помірна здатність до розмноження;
- стабільність до несприятливих умов при зберіганні та обробці, а також до інфекції сторонніми і шкідливими мікроорганізмами. Для насінневих виробничих дріжджів, крім того, є обов'язковими біологічна чистота і висока життєздатність;
- стабільність властивостей і морфологічних характеристик протягом 10-12 генерацій;
- значне зниження рН;
- незначна чутливість до холоду;
- забезпечення смаку і аромату (букета) пива високого рівня;
- можливість переробки цінних побічних продуктів.

Властивості та стан пивних дріжджів у великій мірі визначаються впливом навколишнього середовища, їх метаболізм багато в чому залежить від якості сировини, напівпродуктів і умов проведення процесу приготування пива. Раси пивних дріжджів в різній мірі схильні до впливу цих факторів. Це обумовлено спадковими генетичними особливостями дріжджової клітини, які визначають виробничо важливі ознаки певних дріжджів, специфічні для різних рас.

Бродильна активність дріжджів представляє першорядний інтерес для пивоваріння, тому що від швидкості і повноти зброджування вуглеводів сусла в величезній мірі залежить не тільки отримання пива необхідної якості, а й виникають можливості інтенсифікувати тривалі процеси бродіння і доброджування. Використання дріжджів з підвищеною активністю ферментів бродильного комплексу дозволяє збільшити оборотність бродильно-лагерних ємностей, підвищуючи таким чином ефективність виробництва без будь-яких капіталовкладень, витрат робочої сили і т. д. [10].

Процес бродіння починається тільки після утворення певної концентрації дріжджів. Спочатку бродіння вони повинні бути присутніми в достатній кількості, щоб забезпечити адекватне розмноження дріжджових клітин для використання всіх доступних цукрів. Для забезпечення нормального ходу процесу бродіння небажане надмірне розмноження дріжджів, так як на утворення нових клітин витрачається екстракт сусла, відбуваються значні втрати гірких речовин хмелю. Крім цього, при посиленому розмноженні дріжджів утворюється більше побічних продуктів бродіння, що погіршують якість пива.

Інтенсивність розмноження позначається на бродильній активності дріжджів. Помічено, що чим менше швидкість ділення клітин, тим вища бродильна активність.

Нормальним у виробництві пива вважається утворення не більше 3 - 4 – х - разового приросту біомаси.

Величезне технологічне значення має здатність дріжджів флокулювати й седиментувати. Якщо використовуються дріжджі з раннім осадженням, то в кінці головного бродіння може вийти пиво з високим вмістом незброджених вуглеводів, що призведе до отримання неякісного пива наприкінці доброджування. Воно буде недостатньо збродженим, матиме сторонній присмак і низьку біологічну стійкість. При використанні дріжджів з повільним осадженням з молодим пивом при перекачуванні на дображивання буде переходити більше дріжджів, ніж цього потрібно для нормального протікання процесу доброджування. У результаті в пиві може з'явитися сторонній присмак, зокрема, присмак автолізованих дріжджів [10, 21].

Для виробництва пива, як правило, намагаються застосовувати дріжджі, які як при головному бродінні, так і при доброджуванні добре флокулюють і седиментують, встигаючи при цьому зброджувати необхідну кількість екстракту. У результаті отримують пиво з необхідними фізико-хімічними показниками та хорошим освітленням [34].

Іноді практикується застосування не однієї, а двох або більше рас дріжджів, комбінація яких забезпечує виконання вищевказаних вимог до молодого і готового пива [23, 24].

Для нормального перебігу процесів бродіння і доброджування необхідне правильне ведення виробничої культури. При зберіганні дріжджів під шаром води при низькій температурі відбувається зниження вмісту глікогену в клітинах, зменшується кількість в дріжджах чинників зростання, фізіологічно активних речовин, зростає число мертвих клітин. Крім цього, з клітин виділяються екстрактивні речовини, що є поживним середовищем для сторонніх мікроорганізмів, внаслідок чого виникає небезпека зараження. Звичайна промивка дріжджів біологічно чистою водою при температурі 0 – 1 °С від механічних забруднень (білкових та інших речовин, мертвих клітин) не звільняє дріжджі від інфікуючих їх мікроорганізмів. Тому дріжджі піддають спеціальній обробці речовинами хімічної природи (кислі, лужні розчини), що змінюють властивості дріжджів. Тому для отримання пива потрібної якості необхідно застосовувати дріжджі, які найбільш стійкі до впливу всіх перерахованих вище факторів і здатні при тривалому зберіганні зберігати необхідні для пивоваріння властивості.

Для забезпечення стабільності властивостей дріжджів на конкретному підприємстві доцільно використання одного штаму дріжджів, який забезпечує сталість процесу, даючи пивоварові, можливість кращого контролю. Що стосується стабільності властивостей дріжджів при використанні їх протягом декількох генерацій, то немає однастайності про те, скільки циклів їх можна використовувати у виробництві пива. На думку одних авторів, дріжджі можна використовувати до 100 - 150 генерацій, інших - при нормальному бродінні без

тиску слід застосовувати не більше 4 - 5 генерацій, при бродінні під тиском - не більше 3 генерацій. Звичайним вважається застосування дріжджів до 10 - 12 генерацій. Аргументується це різними міркуваннями. Деякі підприємства викидають дріжджі після кількох генерацій і вважають, що швидке використання свіжої чистої культури дріжджів гарантує безпеку. Інші підприємства, навпаки, використовують дріжджі відносно тривалий час і, досягаючи кількості генерацій, що виражається двозначними числами, використовують їх до тих пір, поки процес бродіння протікає нормально. Згідно з досвідченими даними, дія дріжджів після декількох генерацій слабшає. Це залежить не тільки від дріжджів, але і від складу сусла, і оскільки інфекції, що починаються з мікростадії, як правило, завжди активно розвиваються, рекомендується обмежувати число генерацій.

Якщо дріжджі зберігають біологічну чистоту і нормальний фізіологічний стан, то допускається їх використання більш тривалий час, але виникають більш жорсткі вимоги до зберігання та обробки дріжджів, а також більш уважний контроль за ходом бродіння [35, 36].

Остаточне рішення про якість пива неможливо зробити без аналізу побічних продуктів бродіння, які можуть утворюватися як в результаті складного гликолітичного шляху перетворення вуглеводів в етанол, так і під час розмноження дріжджів. Незалежно від механізму їх утворення дріжджі беруть безпосередню участь в утворенні цих речовин. Існують дріжджі активні і неактивні в цьому відношенні й від їх здатності накопичувати в середовищі ті чи інші побічні продукти бродіння, а також від співвідношення даних речовин, в значній мірі залежать смак і аромат пива.

Особливості рас пивних дріжджів, що забезпечують виконання вищевказаних вимог, що пред'являються до дріжджів при виробництві пива, їх залежність від різних факторів необхідно враховувати при виборі складу сировини і розробці оптимальних режимів ведення технологічного процесу для отримання продукту високої якості.

Оскільки якість дріжджового штаму робить вирішальний вплив на інтенсивність розмноження дріжджових клітин, здатність до флокуляції, швидкість розброджування, зниження рН, загальну тривалість бродіння й особливо на спектр ароматів, представляється доцільним вибрати свою дріжджову расу для використання на даному підприємстві [11]. При цьому підвищення рентабельності виробництва і значне поліпшення якості готової продукції пивоварного виробництва при застосуванні дріжджів, властивості яких дозволяють застосовувати їх на тому чи іншому підприємстві, можна домогтися на існуючому обладнанні, без зміни прийнятого технологічного режиму і додаткових витрат матеріальних та паливно-енергетичних ресурсів.

### **1.3 Побічні продукти бродіння, які впливають на аромат і смак пива**

Результатом складних біохімічних процесів, що відбуваються при бродінні і доброжуванні пива, є отримання продукту певного складу, смаку і аромату.

У виробництві пива одночасно з основними продуктами гліколізу (етанолом і діоксидом вуглецю) утворюється цілий ряд побічних продуктів бродіння, які відіграють істотну роль у формуванні органолептичних властивостей напою. До них відносяться вищі спирти, летючі кислоти, ефіри, альдегіди та їх похідні, і сірковмісні сполуки. Крім цих речовин, у формуванні смаку та аромату пива беруть участь інші групи хімічних сполук: декстрини та меланоїдини, азотисті речовини, гіркі й дубильні речовини хмелю і т. д. [27]. Органолептичні якості пива визначаються метаболізмом дріжджів, складом середовища і умовами проведення процесів бродіння і доброджування пива [10, 28].

*Смакові властивості* пива ділять на його аромат, повноту смаку, відчуття свіжості і гіркоти. Основою формування повноти смаку пива є певний вміст сухих речовин у початковому суслі й обумовлений ним вміст залишкового екстракту. Крім того, дуже важливий внесок вносить вміст високомолекулярних азотистих речовин. При цьому особлива роль відводиться частці загального азоту, тому що пиво з надмірним вмістом азоту має грубий смак. Так само як білкові речовини, діють поліфеноли, продукти реакції Майєра, карамельні речовини, глюкан і пентозани. Відсутність відповідальних за повноту смаку білкових речовин в комбінації з високим вмістом поліфенолів обумовлює сильну гіркоту [23].

Відчуття свіжості частково визначається вмістом в ньому вуглекислоти і сприятливим складом сухих речовин. Крім того, у формуванні цього показника важливим є вміст кислих солей.

На гіркоту пива впливає склад гірких речовин: так, вважається, що когумулон дає більш сильне відчуття гіркоти. Певний вплив приписується і співвідношенню  $\alpha$  - кислот. Однак, безсумнівно, свою роль відіграють і розчинні в суслі та пиві компоненти ароматичних речовин хмелю. Фракція хмелевого масла дуже впливає на округлення відчуття гіркоти. Поряд з хмільною гіркотою проявляється гіркота, викликана дубильними, гіркими речовинами і, нарешті, дріжджами. Білкова гіркота обумовлена наявністю визначаючої на смак фракцією, яка надає пиву певної жорсткості. Дріжджова гіркота відчувається тоді, коли пиво має дріжджовий аромат і смак. Її поява пов'язана або із занадто частою зміною дріжджів при помірному їх розмноженні, з поганим фізіологічним станом дріжджів, або із занадто високим вмістом дріжджів під час перекачування молодого пива й раннім початком доброджування [23, 25].

Також можна зустріти різні порушення смаку, які можна розділити на затхлий солодовий, сусловий або на присмак лушпиння зерна і дробини. Це вже дефекти смаку, тому що вони супроводжуються - і особливо останній їх вид - загальним грубим присмаком пива [23].

*Аромат пива*, з одного боку, визначається ароматичними компонентами хмелю, з іншого боку - квітково-ефірними, сірчано-дріжджовими запахами або також сильно поширеними типово дріжджовим, квітково-дріжджовим і навіть явно дріжджовим присмаком, а також ароматом солоду (солодово-квітково-ефірний), які швидше за все сприймаються як неблагородні. Дуже світлим м'яким сортам пива притаманний свіжий, сірчано-дріжджовий аромат, який може переходити в менш приємний цибулевий присмак [23].

Серед складових речовин пива величезну роль в створенні певного аромату й смаку грають леткі речовини. Вплив того чи іншого компонента на смак і аромат пива визначається пороговою величиною, або порогом відчуття. Для отримання гармонійного смаку і аромату концентрації летючих речовин повинні бути нижче певного рівня. Для деяких ароматичних речовин поріг відчуття вище концентрації, що погіршує смак пива, яка називається «небезпечною концентрацією». Для отримання якісного пива допустимий той вміст ароматичних і смакових речовин, в яких вони не чинять негативного впливу на якість пива [10].

В даний час число ідентифікованих ароматичних компонентів пива зросло до 400, з них 75 органічних кислот, 50 спиртів, 125 складних ефірів, 41 карбонільне з'єднання, 17 ацеталей, 41 фенольне з'єднання і деякі інші. Понад 100 ароматичних компонентів визначають букет пива. Серед них виявлено приблизно 32 спирту, 45 ефірів, 28 кислот та ін.

Точне якісне і кількісне визначення ароматичних речовин пива і вивчення шляхів їх перетворення при бродінні в достатній мірі розкрито завдяки застосуванню фізико-хімічних методів досліджень, серед яких газорідинна хроматографія, що займає ведуче місце [10, 29].

### **1.3.1 Характеристика основних побічних продуктів бродіння та їх роль у формуванні органолептичних показників пива**

Побічні продукти бродіння, що впливають на смак і аромат пива, можна розділити на наступні групи:

- вищі спирти (і їх попередники),
- складні ефіри;
- карбонільні сполуки;
- кислоти;
- сірчисті з'єднання.

Діацетил, який володіє специфічним запахом, є одним з летючих компонентів пива, котрі беруть участь у формуванні його аромату і смаку. Крім діацетила, в пиві містяться такі з'єднання: 2,3 - бутіленгліколь, 2,3 - пентадіон, ацетоїн, діацетилметилкарбінол, метилглюксаль та ін. Бажаний рівень їх в готовому пиві залежить від того особливого аромату, який хочуть отримати, але в багатьох сортах пива дефекти аромату викликаються зайвими концентраціями діацетила. У чистому вигляді діацетил і пентадіон мають однаковий неприємним ароматом, але вважають, що пентадіон менше впливає на аромат пива, тому що міститься в незначній кількості і менш ароматніший [10]. Ацетоїн і бутандіол мають більш високі порогові концентрації сприйняття. Аромат цих речовин так характерний, що багато пивоварів описують його як «діацетиловий». Іноді його називають «масляний», «медовий», «цукерковий». Ці характеристики змінюються в залежності від концентрації діацетила і пентадіона. Воркеліус, досліджуючи причини появи різних присмаків в пиві, показав, що присмак затхлості може з'явитися при великому вмісті в пиві ацетоїну. Він також вказав на те, що при однаковому вмісті ацетоїну й діацетила в фільтрованому пиві

виявляється присмак, характерний при інфікуванні сарцинами, а в нефільтрованому - присмак затхлості. Помічено, що за концентрації нижче порогової, ацетоїн має ефірно-кислий, а діацетил - легкий солодовий тон. Якщо концентрація їх вище порогової, то ацетоїн надає пиву затхло-заплісневільий, а діацетил - гіркий тони. Деякі інші компоненти пива, наприклад метилглюксаль, можуть давати смак, подібний діацетилю. Це служить однією з причин розбіжностей між фізико-хімічними аналізами діацетила та його визначеннями за смаком [10, 29].

Відомо [27], що вже при концентрації діацетилю 0,35 - 0,50 мг/дм<sup>3</sup> в пиві з'являється медовий аромат, який може бути відмінною характеристикою даного сорту пива, однак, при більш високих концентраціях діацетилю пиво набуває специфічний солодкувато-прогірклий смак, який негативно позначається на органолептиці. Загально визнано, що аромат діацетилю в пиві небажаний.

Механізм утворення діацетилю в процесі бродіння і зниження його вмісту в процесі доброджування в пивоварінні остаточно не з'ясований, хоча основні положення теоретично і експериментально обстежені в останні 40 років.

В даний час більшістю дослідників пропонується наступна теорія утворення діацетилю. Вихідним продуктом біосинтезу діацетилю слугує піровиноградна кислота, яка є проміжним продуктом в гліколізі і може накопичуватися в результаті життєдіяльності дріжджів. Піруват ацетилюється в ацетомолочну кислоту, синтезовану дріжджами за допомогою ферменту ацетооксикислота-синтетаза, з якої шляхом декарбоксілювання утворюється ацетоїн. Останній окислюється в діацетил або відновлюється в 2,3-бутиленгліколь [9, 27]. Вважається, що при отриманні пива зміна вмісту діацетилю відбувається шляхом наступних реакцій: хімічна реакція окислювального декарбоксілювання утворення діацетилю й ферментативні реакції, в результаті яких відбувається його редукція. Вважають, що утворення діацетилю з ацетолактату відбувається неферментативним шляхом поза дріжджовою клітиною і процес цей дріжджі прискорити не можуть, тому що у них не виявлено ферменти, що каталізують цю реакцію, але рівень діацетилю в пиві залежить від швидкості, з якою він метаболізується дріжджами. Встановлено, що пивні дріжджі здатні відновлювати діацетил ферментативним шляхом до ацетоїну, який потім легко відновлюється до сполук, що істотно не впливають на аромат пива. Доказів існування у дріжджів специфічного ферменту діацетилредуктази немає. Мабуть, за редукцію діацетилю дріжджами відповідальний фермент алкогольдегідрогеназа, який локалізований в клітинній стінці дріжджів [10].

Вміст діацетилю в готовому пиві визначає не тільки його смакові особливості. В даний час багатьма дослідниками показано, що діацетил є нормальним продуктом життєдіяльності дріжджів і найбільша його кількість утворюється на ранніх стадіях бродіння під час енергійного розмноження та обміну амінокислот у дріжджів. У період доброджування відбувається зменшення вмісту діацетилю в результаті його активного біологічного розщеплення. У зв'язку з цим багато дослідників вважають, що біохімічні перетворення діацетилю можуть характеризувати напрямок, глибину і

завершеність технологічного процесу, а також можуть слугувати критеріями закінчення процесу дозрівання пива [28, 29].

Не менш важливе значення в напоях бродіння надають *вищим спиртам*. Незважаючи на присутність їх в пиві в незначних кількостях, вони є сильними ароматоутворювачами, тому навіть у невеликих концентраціях чинять значний вплив на смак і аромат пива. Поєднання певної кількості вищих спиртів разом з іншими сполуками створює специфічний, властивий тільки даному напою смак і аромат.

Органолептичні властивості спиртів залежать від їх хімічної структури. Вважають, що аромат вищих спиртів посилюється зі збільшенням молекулярної маси. Велику роль відіграють спирти, у яких гідроксильна група розташована в бічному ланцюзі. Ці спирти мають більш приємний аромат, ніж аліфатичні. Аліфатичні спирти містять гідроксильні групи, які розташовуються в молекулі по різному. Залежно від розташування гідроксильних груп вторинні і третинні спирти відрізняються по запаху від нормальних та ізомерних первинних спиртів. Так, наприклад, первинний бутиловий спирт відрізняється від вторинного менш інтенсивним запахом. Слід зазначити, що зі збільшенням аліфатичного вуглецевого ланцюжка спиртів запах стає приємнішим. Так, бутилові й амілові спирти та їх ізомери володіють неприємним різким запахом. Спирти з більш довгим ланцюжком, наприклад, гексиловий мають аромат порівняно більш приємний, що володіє квітковим запахом при розведенні [30]. Ароматичні спирти сильніше впливають на смак і аромат пива, ніж аліфатичні. У той же час, якщо кількість аліфатичних спиртів і ефірів перевищує певні норми, тонкий специфічний аромат пива змінюється і набуває неприємних тонів.

Вищі спирти пива на 90% представлені ізоамілолом, ізобутанолом і н-пропанол. Підвищений вміст в пиві кількості вищих спиртів, особливо ізобутанолу та ізоамілолу, надає пиву не властивий йому аромат і сильно виражену гіркоту. Велика кількість в пиві амілового, ізоамілового та ізобутилового спиртів обумовлює грубий смак так званого «важкого» пива. «Огрубіння» смаку пива і погіршення його аромату, викликане високою концентрацією ізоамілолу, відзначено також Шмідтом і Рижовою. У той же час, пропанол в концентрації до 50 мг/дм<sup>3</sup> не впливає на смак і аромат пива. Оскільки кількість пропанолу в пиві не досягає такої великої величини, Шмідт і Рижова вважають, що цей спирт взагалі не впливає на смак і аромат пива. До таких же висновків дійшов і Вагвальд. При підвищеному вмісті β - фенілетанолу пиво набуває запах і присмак цвілі [30]. Дреус і Ріман вважають, що смак пива кращий при низькому вмісті аліфатичних спиртів і β-фенілетанолу, кількість якого в пиві досягає 60 - 80% від загальної кількості ароматичних спиртів [10]. Затхлу солодову ноту можна спостерігати в пиві з підвищеним вмістом β - фенілетанолу гексанолу, 3 - метилбутанолу. Присмак лушпиння зерна і дробини можна пов'язати з 2 - етилгексанолом і 1 – октен – 3 - олом [23].

Питанню утворення вищих спиртів в процесі бродіння і доброджування пива присвячено багато робіт [29, 30]. Вищі спирти розглядаються як продукти обміну речовин дріжджів. Що стосується механізму утворення вищих спиртів, то, на думку Ерліха, вищі спирти є продуктами гліколізу амінокислот. В

результаті гліколітичного дезамімування утворюються оксикислота та аміак, потім оксикислота розпадається на мурашину кислоту й альдегід, який відновлюється воднем до відповідного спирт. Найбауер і Фромхерц першу стадію процесу вважають окислювальним дезамуванням з утворенням кетокислот і аміаку [29]. Веселов І. Я. вважає утворення вищих спиртів не самостійним перетворенням амінокислот при бродінні, а процесом, пов'язаним зі зброджуванням вуглеводів. Грачова І. М. запропонувала схему, згідно з якою утворення вищих спиртів залежить як від вуглеводного, так і від азотистого обміну речовин в клітині. Основною зв'язуючою ці обмінні процеси ланкою при утворенні вищих спиртів є піровиноградна кислота, яка, виникаючи в результаті вуглеводного обміну, включається в реакцію переамінування з амінокислотами і перетворюється в  $\beta$  - аланін, який споживається клітиною поряд з іншими амінокислотами на побудову біомаси. Утворені в результаті переамінування кетокислоти при наявності циклу спиртового бродіння вуглеводів після декарбоксілювання відновлюються до вищого спирту [10].

Найважливішими побічними продуктами бродіння є органічні кислоти, вміст і співвідношення яких є одними з визначальних якісних характеристик пива. Концентрації летючих кислот в пиві змінюються в широких межах. Підвищений вміст кислот порушує гармонійність смаку і аромату.

В ході технологічного процесу вміст деяких кислот не змінюється, інші ж утворюються при зброджуванні пивного сусла в результаті життєдіяльності дріжджів [29]. Так, лимонна, яблучна і глюконова кислоти переходять в пиво з сусла, L - і D - молочна зазнають незначні зміни, а піровиноградна й оцтова кислоти є продуктами бродіння [23].

При бродінні, в основному, утворюються жирні кислоти  $C_2 - C_6$ . Вміст оцтової кислоти в пиві становить 80 - 95% від загальної кількості летючих кислот. Вона має характерний аромат і, на думку деяких авторів в оптимальних дозах впливає на формування смаку, а підвищений її вміст створює неприємний букет і знижує смакові якості пива. Характерні запахи пропіонової, масляної, ізомасляної, ізовалеріанової і валеріанової кислот набагато сильніші, ніж запах оцтової кислоти, тому вони більшою мірою впливають на формування аромату напоїв [30].

Кислоти з великим числом вуглецевих атомів негативно впливають на букет пива, тому що, окислюючись до альдегідів, вони надають напою несвіжого аромату. Неприємний дріжджовий присмак, який погіршує і відчуття гіркоти пива, супроводжується підвищеним вмістом середньоланцюгових жирних кислот, таких як гексанова, октанова, і, перш за все, деканова кислоти, а також їх етилових ефірів. Наприклад, під час дозрівання і зберігання в результаті виділень з дріжджової клітини вміст деканової кислоти може зрости з нормального рівня з 0,4 до 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Погіршується якість піни, гіркий присмак стає металеводріжджовим, зростає значення рН і коефіцієнт вільного амінного азоту [23].

Слід відзначити особливу роль у формуванні смаку і аромату пива багатоосновних кислот, що входять в цикл Кребса. Вони мають свої смакові особливості. Лимонна кислота надає напою свіжого кислотного запаху, бурштинова, крім кислого смаку, - солоний і гіркий присмак, піровиноградна -

сирий, старий, окислений запах. У великих концентраціях піровиноградна кислота створює неприємний букет, що негативно позначається на якості пива.

Перевищення оптимального вмісту високо - і низькомолекулярних жирних кислот викликає не тільки небажану зміну аромату, але і обумовлює старіння смаку, порушення смакової стабільності і погіршує піностійкість.

Найбільш повна схема утворення жирних кислот дана Ж. Рейзіном (США). На основі численних даних показано, що утворення летючих кислот може відбуватися як по шляху синтезу, так і по шляху деградації амінокислот. Одним з головних продуктів всіх перетворень є ацетил-КоА.

Велике значення для формування органолептичних властивостей пива мають *ефіри* етилового та вищих спиртів. Шляхом ГРХ в пиві виявлено 45 ефірів. Головними компонентами цієї групи речовин є етилацетат й ізоамілацетат, вміст яких в пиві за даними одних дослідників становить 15 - 30 мг/дм<sup>3</sup> і 2 мг/дм<sup>3</sup> відповідно, в той час як концентрація всіх інших ефірів не перевищує 1 мг/дм<sup>3</sup> [10]. За іншими даними, вміст етилацетату в різних сортах пива змінюється в межах 9,2 - 28,2 мг/дм<sup>3</sup>, ізоамілацетату - від 1,2 до 3,2 мг/дм<sup>3</sup> і  $\beta$  - фенілацетату - до 8,0 мг/см<sup>3</sup>.

Ефіри є позитивними компонентами пива, тому що беруть участь в формуванні його органолептичних властивостей, однак підвищений вміст їх позначається на якості пива. У занадто високих концентраціях ефіри надають пиву фруктовий або льодяниковий аромат, причому високомолекулярні ефіри мають більш приємний фруктовий запах, ніж низькомолекулярні [30]. Етилацетат надає пиву невеличкий сторонній запах, а в більш високих концентраціях - терпкий присмак і гіркоту. Ізобутилацетат в суміші з ізоамілацетатом підсилює аромат з переважанням бананового запаху; етилкапронат може сприяти появі так званого «фруктового» пива, так якщо смаковий поріг відчуттів його дуже низький, то в процесі виробництва пива може бути легко перевершений. У суміші з етилкаприлатом він дає яблуневий аромат. Гептиловий та октиловий ефіри оцтової кислоти, а також етилові ефіри нікотинової та додеканової кислот дають присмак лушпиння зерна і дробини [23]. Дуже сильний вплив на пиво надає ізопентилацетат, який погіршує смак навіть в невеликих кількостях [29].

Ефірна нота надає приємний смак більш міцним сортам пива. Це особливо помітно при отриманні пива тривалого доброджування, світлих сортів і також сильно охмелених сортів.

Поріг відчуття у ефірів дуже низький. За даними Суомалайнена порогові величини для етилкаприлату становлять 0,25 мг/дм<sup>3</sup>, для ізоамілацетату - 0,2 мг/дм<sup>3</sup>,  $\beta$  - фенілацетату - 0,65 мг/дм<sup>3</sup>, етиллактату - 14,0 мг/дм<sup>3</sup>, етилацетату - 17,0 мг/дм<sup>3</sup>. Гаєнг наводить такі смакові межі: для етилформиату - 0,35 мг/дм<sup>3</sup>, ізоамілацетату - 4,0 мг/дм<sup>3</sup>, фенілетилацетату - 5,0 мг/дм<sup>3</sup>, етилацетату - 15,0 мг/дм<sup>3</sup>. Гаррісон пропонує інші пороги відчуття: для ізоамілацетату - 1 мг/дм<sup>3</sup>, етилацетату - 25 мг/дм<sup>3</sup>. Ці дані близькі до величин порогів відчуття, отриманих Шмідтом і Рижовою [10].

Щодо хімізму утворення ефірів в процесі виробництва пива існують різні точки зору. Деякі автори вважають, що при бродінні сусла воно відбувається по

реакції етерифікації за рахунок взаємодії ряду утворених при бродінні спиртів і кислот за наявності естераз дріжджів. Для перебігу даної реакції в одному напрямку потрібні водовіднімаючі речовини. З огляду на зниження концентрації альдегідів і незмінність кількості кислот при утворенні ефірів, інші автори [8] відносять утворення ефірів за рахунок реакції конденсації між альдегідами.

Літературні дані вказують, що утворення ефірів пов'язано із бродінням і припиняється, коли зброджуваний вуглець вичерпаний. Було помічено, що накопичення етилацетату відбувається на першій стадії головного бродіння і кількість його збільшується до кінця бродіння, а також встановлено, що ефіри з'являються на другу добу бродіння, а на третю добу їх кількість збільшується в 1,5 рази.

При доброжуванні настає деяке уповільнення швидкості утворення ефірів, яке закінчується, в основному, за 10 днів витримки. Потім кількість ефірів залишається практично постійною. Вважається, що концентрація ефірів до кінця доброджування збільшується на 30 - 100% в порівнянні з вмістом в молодому пиві. При доброжуванні відбувається, в основному, збільшення вмісту в пиві етилацетату, ізоамілацетату та етилкаприлату.

Помічено, що аромат пива в значній мірі визначається співвідношенням більш легких аліфатичних спиртів до складних ефірів. Високоплотні й м'які сорти виходять при співвідношенні складного ефіру до аліфатичних спирту 1: 3 [23].

*Альдегіди.* Дослідження останніх років по смаковій стійкості пива показали, що одним з факторів у забезпеченні дозрівання і збереження букету пива є карбонільні сполуки, в основному, альдегіди. За допомогою ГЖХ газового простору пива, інфрачервоної і мас-спектроскопії в ньому виявлено 12 альдегідів, що містять від 2 до 12 атомів вуглецю з різним порогом відчуття [10].

Основним альдегідом, що міститься в пиві, є ацетальдегід, кількість якого в різних сортах пива коливається від 10 до 35 мг/дм<sup>3</sup>, за іншими даними – 3,6 – 15,6 мг/дм<sup>3</sup> [10]. Перебуваючи в пиві у великій концентрації, ацетальдегід створює присмаки, що характеризуються термінами зелений, трав'янистий, а також присмак фільтр-картону і гострий присмак хімікату. За даними деяких учених при концентрації його 25 мг/дм<sup>3</sup> в пиві з'являється дряпаючий або підвальный присмак. Пфеннігер та ін. вже при концентрації ацетальдегіду 10 мг/дм<sup>3</sup> виявляли затхлий аромат пива. В процесі старіння пива у багатьох сортів формується присмак паперу. Карбонільні сполуки, зокрема, ненасичені аліфатичні альдегіди вносять вирішальний внесок у формування такого присмаку [10, 29].

Альдегіди інтенсивно утворюються на початку стадії бродіння як проміжні продукти метаболізму на шляху гліколітичного перетворення вуглеводів в етанол [10].

Вважають, що основний шлях утворення альдегідів - це розщеплення за реакцією Штрекера. При реакції Майєра утворюються різні  $\alpha$  - дикарбоніві з'єднання, які в рамках розпаду Штрекера можуть реагувати з амінокислотами. При цьому  $\alpha$  - дикарбоніл з амінокислотою дають альдегід, що містить на 1 атом вуглецю менше, ніж вихідна амінокислота.

При дозріванні пива знижується кількість альдегідів, що надають готовому напою незрілого смаку. В основному вивчалася зміна вмісту ацетальдегіду. Показано, що нинішнє зростання кількості ацетальдегіду відбувається найбільш енергійно в перші дні бродіння. Одні дослідники стверджують, що найбільша кількість його в пиві виявлена на стадії високих завитків, інші вважають, що максимум утворення ацетальдегіду відбувається в кінці головного бродіння. При витримці кількість ацетальдегіду в пиві знижується на 30 - 70%, особливо інтенсивно - в першій половині стадії [30]. Істотне зниження кількості альдегідів при доброжуванні, що відбувається в результаті складних біохімічних перетворень, відзначено також низкою авторів. Тривалість цього процесу залежить від кількості альдегідів, утворених в процесі головного бродіння і при доброжуванні.

Великий вплив на смакові й ароматичні характеристики пива мають *сірковмісні сполуки* [8, 23]. На пивний аромат впливає велика кількість летючих сполук сірки. Явно відчуваються сірчано-дріжджовий запах і присмак в дуже світлих, м'яких сортах пива. Аналіз виявляє в цих сортах підвищений вміст полісульфідів, метилтіоефіру, а також етил - і метилмеркаптанів. Іноді має місце підвищений вміст SO<sub>2</sub>. Стабільність смаку подібних зразків дуже висока. Леткі сполуки викликають неприємний овочевий запах, викликаний диметилсульфідом. Професор Нарцис охарактеризував диметилсульфід як порок смаку (off-Flavour) [23].

Присутність сірчистих сполук вважається основною причиною неприємного (незрілого) смаку молодого пива. У готовому пиві міститься 2 - 15 мг/дм<sup>3</sup> двоокису сірки, 0,4 - 2,9 мг/дм<sup>3</sup> сульфгідрильних з'єднань, 0,001 - 0,07 мг/дм<sup>3</sup> меркаптанів і 3 - 15 мг/дм<sup>3</sup> сірководню [10].

При підвищеному вмісті сірчистих сполук пиво набуває дріжджового, окисленого, пастеризаційного і так званого сонячного присмаків. З іншого боку двоокис сірки дає позитивний вплив на загальний смак пива, і, перш за все, на його стабільність. Занадто низька кількість двоокису сірки може бути причиною короткого часу придатності пива [23].

Сірчисті з'єднання в пиві утворюються хімічним шляхом з метіоніну і цистеїну - амінокислот, що мають в своєму складі сірку, з яких у наслідок процесів затирання і кип'ятіння суслу утворюються сірковмісні з'єднання, здатні реагувати з різними метаболітами дріжджів і утворювати інші сірчисті з'єднання. Дріжджі можуть також відновлювати цистеїн і неорганічні сульфати, в результаті чого виходить H<sub>2</sub>S, а також утворювати з метіоніну і ацетальдегіду метил і етилмеркаптани.

Іншим джерелом утворення сірчистих сполук в пиві є дріжджі, що утворюють SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S і органосірчасті з'єднання, з яких хімічним шляхом можуть утворюватися вже інші сірчисті з'єднання.

Сірчисті з'єднання в пиві можуть утворюватися і в результаті життєдіяльності інфікуючих мікроорганізмів.

Вважається, що максимальне утворення сірчистих речовин відбувається в період найбільшої інтенсивності процесів обміну речовин дріжджів, а потім зменшується [10].

Останнім часом змінам вмісту сірчистих сполук в процесах бродіння і доброджування надають особливого значення при вирішенні проблеми забезпечення смакової стабільності пива. Розроблено спеціальні рекомендації, спрямовані на зниження вмісту сірчистих сполук, зокрема, диметилсульфіду, сірководню, меркаптанів та інших речовин з метою підвищення смакової стабільності та усунення смаку старіння і окислення [28].

Узагальнюючи численні дослідження в цій області, можна констатувати, що, перебуваючи в пиві в незначних кількостях, летючі побічні продукти надають помітного впливу на його органолептичні показники. Певні поєднання цих речовин створюють специфічний смак і аромат напою. Тому необхідно так працювати з сировиною і вибирати таку технологію, щоб можна було отримати пиво з потрібним ароматом і смаком. При цьому необхідно знати чинники, які впливають на смак і аромат пива.

### **1.3.2 Вплив деяких технологічних факторів на якісний та кількісний склад летючих речовин пива**

При використанні будь-якого штаму дріжджів вирішальними умовами для якісного зброджування його дріжджами є оптимальні умови процесу бродіння. Найважливішими параметрами при цьому є доза дріжджів, температура бродіння, аерація (забезпечення киснем), склад сусла. За допомогою цих параметрів можна управляти технологічним процесом бродіння і забезпечити ідеальні умови для росту дріжджів [23, 29].

Вміст летких продуктів в пиві в значній мірі залежить від стану дріжджів, які визначаються технологічними факторами. Аналіз ароматичних речовин являє собою певну цінність і контроль зразків пива стає просто необхідним, вже починаючи з самих ранніх стадій виробництва пива: йому повинно піддаватися молоде, доброджуюче, зріле пиво - через певні проміжки часу, і, нарешті, готове пиво. Це допомагає оцінити очікувану якість продукту.

*Вплив температури.* Температура є важливим параметром, який впливає на процес бродіння. Підвищення температури збільшує швидкість хімічних реакцій і прискорює процес зброджування екстракту сусла. В середньому, при зростанні температури на 10 °C швидкість реакцій подвоюється. Проте при цьому кількість і співвідношення продуктів метаболізму дріжджів при накопиченні чинять істотний вплив на органолептичні властивості готового продукту. Вважається, що пиво, отримане холодним способом має кращу якість. Низькі температури сприяють формуванню більш легкого, тонкого аромату в пива низового бродіння, в той час як високі температури верхового бродіння надають пиву фруктовий аромат. Таким чином, інтенсифікація бродіння за рахунок зростання температури при одночасному збереженні якості продукту можлива лише в обмеженій мірі [29].

Більшість дослідників приходять до єдиної думки, що з підвищенням температури в середовищі при бродінні збільшується кількість діацетилу. Швидкість редукції його також залежить від температури. Підвищення температури, по-перше, посилює ріст дріжджів, що призводить до більшого

утворення діацетилу, а по-друге, прискорює активне біологічне розщеплення його, тому що збільшується швидкість обмінних процесів в дріжджовій клітині. В даний час з'ясовано, що підтримання високої температури при головному бродінні забезпечує одержання пива з низькими кінцевими концентраціями діацетилу [29]. Деякі дослідники вважають, що чим швидше закінчиться утворення діацетилу, тим більше його віддалиться до кінця технологічного процесу [10]. Так, при температурі 20 °С редукція діацетилу проходить за 1 - 2 години, при 3 - 4 °С протягом декількох днів і при 0 °С - протягом декількох тижнів. Існують дані, що пиво, отримане при зброджуванні протягом 6 днів при 16,5 °С і доброджуванні протягом 2 днів при 0 °С містило так же ж мало діацетилу, як і пиво, одержане при 7-денній тривалості зброджування і 51 дню доброджування при 1 °С. В цілому, коротка витримка при більш високих температурах дає кращий ефект, ніж тривала при низьких.

В даний час вважається, що для швидкого розщеплення діацетилу при підвищеній температурі, слід дотримуватись таких умов: досягнення ступеня зброджування молодого пива близькою до кінцевої, підтримка високої концентрації суспендованих дріжджових клітин, запобігання потрапляння кисню та інших акцепторів водню в молоде пиво [10].

Встановлено, що збільшення температури бродіння, як правило, супроводжується підвищенням вмісту вищих спиртів в пиві. Максимальне утворення вищих спиртів відбувається, ймовірно, при температурі 20 °С. І. М. Грачева, П. Я. Веселов, Гаврилова, які вивчали утворення вищих спиртів дріжджами *S. carlsbergensis* в широкому діапазоні температур від 2 °С до 30 °С виявили, що при 20 °С їх концентрація в середовищі була приблизно в 2 рази вище, ніж при 2 °С. При подальшому підвищенні температури кількість вищих спиртів знижувалася і при 30 °С вона була в 2,6 рази нижче в порівнянні з бродінням при 20 °С. При температурі 13 - 15 °С вміст вищих спиртів збільшувався в 1,1 - 1,3 рази в порівнянні з холодним режимом бродіння. Це пояснюється більш інтенсивним розмноженням дріжджів і активнішим використанням азотистих речовин сусла. Під час проведення бродіння при максимальній температурі 11 °С і 13 °С приріст вищих спиртів склав 10% відносно бродіння при максимальній температурі бродіння 9 °С [10].

Підвищення температури бродіння особливо сильно позначається на вмісті ізоамілолу, активного амідолу, н-пропанолу й ізобутанолу, кількість яких при підвищенні температури з 10 °С до 25 °С збільшується в 1,2 - 2,2 рази, але найбільше - на утриманні  $\beta$  - фенілетанолу [23].

Більшість авторів приходять до думки, що з підвищенням температури зброджування збільшується і кількість утворених в середовищі кислот. З іншого боку, збільшення це незначне, хоча швидкість їх утворення з підвищенням температури зростає [10]. Так, при збільшенні температури бродіння пива від 12,5 °С до 25 °С відбувається більш швидке утворення піровиноградної кислоти, одночасно, при підвищенні температури вона в більшій мірі включається в реакції метаболізму дріжджів. Таким чином, кінцева концентрація пірватату залишається незмінною [10]. Підвищена температура бродіння сприяє збільшенню вмісту оцтової кислоти.

В. В. Жировою і співробітниками проводилося зброджування 11% - ного охмеленого пивного сусла різними расами пивних дріжджів при температурі 6 °С і 20 °С. Було встановлено, що з підвищенням температури збільшується сумарний вміст летких кислот. Динаміка накопичення летких кислот носить екстремальний характер незалежно від температури бродіння, але при підвищенні температури бродіння з 6 °С до 20 °С період максимального накопичення суми летючих кислот зменшується в 3 рази. При підвищеній температурі дображування кількість деканової кислоти може зрости в 3 - 4 рази [23].

При збільшенні температури зростає окислення жирних кислот. Ліпіди перетворюються в неприємно пахнучі альдегіди, які погіршують аромат пива.

Багато дослідників спостерігали посилення утворення ефірів при збільшенні температури бродіння. Було відмічено, що при підвищенні температури з 7 °С до 10 - 13 °С загальний вміст ефірів в молодому пиві збільшується в 1,1 – 1,3 рази. При підвищенні температури бродіння з 10 °С до 25 °С вміст етилацетату в пиві зростає з 12 до 21 мг / дм<sup>3</sup>.

Вважають, що оптимум утворення ефірів дріжджами під час бродіння лежить в межах 25 °С [29]. Деякі дослідники вказують, що збільшення температури бродіння або не позначається помітно на накопичення ефірів, або навіть сприяє зменшенню кількості ізоамілацетату, не змінюючи при цьому вмісту ізобутилацетату.

Донхаузер із співробітниками встановив, що при збільшенні максимальної температури бродіння до 11 °С і 13 °С кількість складних ефірів збільшується в порівнянні з 9 °С на 29 і 35% відповідно.

Щодо впливу температури на вміст альдегідів в пиві наразі не існує єдиної точки зору. При застосуванні дріжджів верхового бродіння для зброджування сусла при температурі 12 °С, 16 °С, 20 °С Зоммер не виявив відмінностей у вмісті ацетальдегіду в пиві [23]. Іншими авторами встановлено, що підвищення температури бродіння сприяє посиленому накопиченню в середовищі альдегідів, в тому числі ацетальдегіду, однак, редукція його також посилюється. Гаврилова показала, що оптимальною температурою утворення альдегідів є, ймовірно, 20 °С. При підвищенні температури з 5 °С до 16 °С вміст альдегідів зростає в 1,26 рази, однак, при подальшому її зростанні до 30 °С кількість альдегідів зменшується в 1,58 рази.

Підвищення температури також веде до збільшення вмісту сірчистих сполук в пиві.

*Вплив якості сусла.* Склад сусла, перш за все білковий і вуглеводний, змінюється за біохімічними показниками від варіння до варіння. В ході бродіння в суслі утворюються різні речовини, які в певній мірі впливають на утворення побічних продуктів бродіння. Неякісне за своїми показниками сусло призводить до уповільненого головного бродіння і доброджування, недостатнього дозрівання і, в кінці, до незадовільної якості пива [29].

Вплив складу сусла на вміст діацетила ще повністю не вивчено, але відомо, що якісні показники сировини в значній мірі впливають на кількісний вміст діацетила в пиві.

На вміст діацетилу в пиві впливає рівень амінокислот в суслі. Зниження концентрації амінного азоту в суслі менше 20 мг / 100 см<sup>3</sup> призводить до зниження активності дріжджових клітин, зменшення кінцевого ступеня зброджування сусла, в результаті чого знижується активність алкогольдегідрогенази, а, отже, зменшується інтенсивність редукції діацетилу [29, 30]. Необхідно відзначити, що має значення як сума амінокислот, так і вміст окремих амінокислот.

З огляду на роль валіну в утворенні діацетилу, багато дослідників намагалися встановити зв'язок між вмістом валіну в суслі і кількістю діацетилу в пиві. При використанні різноманітних солодів і сусла з різним вмістом валіну не спостерігали залежності між кількістю валіну і рівнем діацетилу в пиві. За іншими даними [29], валін утворюється так же, як і ацетоїн і діацетил з ацетолактату. У свою чергу, вміст у клітинах ацетолактату, визначається швидкістю протікання реакції піруватацетолактату, яка залежить від активності ферменту синтетази ацетооксикислоти. Передбачається, що валін пригнічує цей фермент і тим самим сприяє зниженню концентрації діацетилу в пиві, тобто при зброджуванні сусла з високим вмістом валіну виходить пиво з низькою концентрацією діацетилу. Світлі солода дають сусло з великим вмістом валіну, ніж темні, і пиво, отримане із застосуванням світлого солоду, в порівнянні з пивом, приготованого з використанням темного, містить менше діацетилу.

Вміст в суслі легко зброджуючих цукрів (глюкози) сприяє прискоренню гліколізу, в результаті утворюється більше пірувату, а, отже, зростає кількість синтезованого ацетолактату. Крім того встановлено, що глюкоза є хорошим джерелом для синтезу валіну, далі йде сахароза, арабіноза, ксилоза, мальтоза.

Використання добавок несолоджених матеріалів може привести до отримання пива з високими концентраціями діацетилу. Це пов'язується з низьким накопиченням амінного азоту і цінних поживних речовин в суслі, що призводить до зниження швидкості процесів обміну речовин дріжджових клітин. Застосування солодів з поганим ступенем розчинення також призводило до підвищених концентрацій діацетилу в пиві.

Швидкість розпаду ацетомолочної кислоти і співвідношення утворених з неї діацетилу і ацетоїну залежать від рН, температури, наявності окислювальних агентів і переносників електронів [10].

Таким чином, сусло повинно містити достатню кількість цінних поживних речовин і не містити з'єднань, що пригнічують дріжджі. Це дозволяє забезпечити нормальну життєдіяльність дріжджів в ході бродіння і доброджування, отже, збільшити швидкість редукції діацетилу.

І. М. Грачева з співробітниками досліджували вплив на процес утворення вищих спиртів різних речовин, які, виходячи з різних схем, могли б бути безпосередніми попередниками вищих спиртів і вплинути на їх накопичення в процесі життєдіяльності дріжджів. Було встановлено, що збіднення середовища по амінному азоту викликає зміна в співвідношенні основних компонентів вищих спиртів, зменшується вміст ізоамілового спирту і підвищується вміст н-пропилового спирту. Недостаток в азотистому харчуванні при зниженні рівня загального азоту і при значному вмісті зброджуваних вуглеводів в середовищі

призводить до збільшенн утворення вищих спиртів на одиницю біомаси дріжджів. Деякі автори вважають, що при низькому вмісті азоту утворюється більше вищих спиртів. Виявлено, що введення в середовище аміачного азоту сприяє зменшенню в 1,4 – 1,7 рази сумарної кількості вищих спиртів, в основному, за рахунок зменшення біосинтезу ізоамілового та ізобутилового спиртів [10].

Суомалайнен вважає, що до утворення вищих спиртів мають відношення деякі кетокислоти, що утворюються в пиві при бродінні. При підвищенні вмісту піровиноградної кислоти в середовищі, що бродить, збільшується накопичення вищих спиртів, органічних кислот, ефірів; в дріжджах підвищується кількість жиру [29].

Природа вуглеводів (глюкоза, сахароза, мальтоза, декстрини), що містяться в середовищі, на думку І. М. Грачевої, не впливають на утворення вищих спиртів.

Кількісний вміст кислот в готовому пиві в значній мірі визначається якісними показниками сусла [29]. Серед факторів, які впливають на накопичення кислот при бродінні, відзначається рН сусла. Підвищення рН середовища викликає збільшення утворення летючих кислот під дією ферментативного комплексу дріжджів, що регулює рН і утримує його на оптимальному для розвитку дріжджів рівні. Кут і Кіршоуп в своїх дослідях збільшували рН вихідного сусла на 0,4 і 1,2 одиниці і спостерігали при цьому збільшення концентрації піровиноградної кислоти, відповідно на 10,31 мг/дм<sup>3</sup> [10].

В утворенні кислот при бродінні значну роль відіграють амінокислоти. При введенні вільних амінокислот в середовище було помічено [10], що кількість летючих кислот збільшувалася.

Внаслідок того, що утворення кислот відбувається в ході спиртового бродіння, більшість дослідників дотримується думки, що їх вміст в готовому напої пропорційний кількості зброджених цукрів.

При підвищеному вмісті масової частки сухих речовин початкового сусла дріжджі в таких умовах розмножуються не сильно, і зростає частка ефірів. Ефірний присмак може також залежати від якості солоду. Так, занадто мала кількість амінокислот, що спостерігається в слабо розчиненому солоді з низьким вмістом ферментів, призводить до підвищення вмісту ефірів. Але подібне явище має місце і при високому вмісті вільного азоту амінокислот, надлишок якого призводить до утворення підвищених кількостей побічних продуктів бродіння, в тому числі й ефірів [23].

Доведено, що навіть незначні зміни в складі сусла викликають зміни в концентрації сірчистих речовин у пиві. Великий вплив на утворення сірчистих сполук має вміст азоту і фосфору в суслі. Було відмічено, що чим більше солоду використовується у виробництві пива, тим більше H<sub>2</sub>S міститься в готовому напої. Заміна солоду іншою сировиною, що містить знижену кількість аміноного азоту, знижує кількість H<sub>2</sub>S та інших сірчистих сполук.

Наявність H<sub>2</sub>S в зброджуючому середовищі пов'язують з якісним і кількісним складом амінокислот в ній. Метіонін уповільнює утворення H<sub>2</sub>S, в чому йому сприяє лейцин. Інші амінокислоти сприяють його накопиченню [10].

Доведено, що метіонін знижує утворення  $\text{SO}_2$ , а також інгібує відновлення  $\text{SO}_2$  в  $\text{H}_2\text{S}$ .

Збільшення вмісту диметилсульфіду з 60 частин на млрд (в разі пива з несолодженої сировини) до 100 - 130 частин на млрд (в разі повністю солодового пива) пояснюється тим, що солод поставляє таких попередників диметилсульфіду, як S – метил - метіонін і диметилсульфідоксид [23].

Перехідні метали, такі як мідь, відомі здатністю зменшувати концентрацію сірчистих сполук й пом'якшувати сірчистий присмак пива. І цей ефект вже понад століття використовується для кореляції сульфідного присмаку в доброджуваному в бочках пиві.

Норма введення дріжджів. Підвищена норма засіву дріжджів є одним із способів інтенсифікації процесів бродіння, що пояснює підвищений інтерес більшості дослідників до питання впливу даного чинника на утворення летючих речовин пива [10, 29].

Стандартною вважається норма введення 15 - 18  $\text{cm}^3$  дріжджових клітин на 1  $\text{cm}^3$  сусла. При такій кількості дріжджі оптимальним чином контактують з пивним суслем. Великі дози викликають більш швидке зброджування, але більш повільне розмноження клітин. Це обумовлює збільшення одних і зменшення інших побічних продуктів бродіння.

Збільшення дози дріжджів сприяє більш інтенсивному накопиченню ацетолактату, а значить, і більш раннього накопичення діацетилу в пиві. Це в свою чергу, викликає більш ранню реакцію дикетонів ферментами дріжджів, в результаті скорочується період доброджування пива. Така технологія нині використовується деякими зарубіжними фірмами (APV - Англія, Корідо - Іспанія).

При вивченні впливу початкової концентрації дріжджових клітин в суслі на синтез діацетилу і його редуцію було встановлено наступне: при збільшенні засіву з 25 до 60 млн./ $\text{cm}^3$  спостерігається зниження кількості діацетилу в молодому пиві з 1,0 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, при цьому максимальний вміст діацетилу в пиві при концентрації клітин 15 - 30 млн./ $\text{cm}^3$  доводиться на кінець головного бродіння (1 мг/дм<sup>3</sup>), а при концентрації 60 млн./ $\text{cm}^3$  - на 4-у добу бродіння (1,2 мг/дм<sup>3</sup>). Подальше збільшення норми введення дріжджів не має сенсу, так як концентрація діацетилу в молодому пиві при 60, 100 і 130 млн./ $\text{cm}^3$  була приблизно в межах 0,5 мг/дм<sup>3</sup> [23].

І. М. Грачева, І. А. Беренцвейг вивчали зміну вмісту діацетилу при підвищеній дозі засіву дріжджів. Ними було встановлено, що кількість діацетилу інтенсивно наростає протягом 2 діб бродіння, потім сповільнюється, а з третьої доби швидко знижується. В результаті досліджень було висловлено припущення, що на кінцевих фазах бродіння швидкість редуції діацетилу вища швидкості його синтезу.

Необхідно відзначити, що часто практикуючи в пивоварінні повторна задача дріжджів може призвести до зменшення вмісту діацетилу, але при цьому збільшується кількість ацетальдегіду в пиві [23].

Залежність накопичення вищих спиртів від початкового засіву дріжджів детально вивчена вітчизняними дослідниками. Було показано, що біосинтез

вищих спиртів є результатом обмінних процесів, інтенсивність яких збільшується при розмноженні мікроорганізмів. Тому величина засіву дріжджів певним чином впливає на кількість вищих спиртів в зброджуєчому середовищі.

І. М. Грачевою показано, що зведення до мінімуму можливості розмноження дріжджів шляхом різкого збільшення початкового засіву призводить до значного зниження інтенсивності утворення вищих спиртів.

Гаврилова виявила, що збільшення кількості насінневих дріжджів в 8,5 разів призводить до зниження сумарної кількості вищих спиртів в 2,35 рази. Близькі результати виявили й інші вчені. Було встановлено, що в напіввиробничих умовах при підвищенні норми задання дріжджів від 0,5 до 2,0 дм<sup>3</sup>/гл спостерігається зменшення вмісту вищих спиртів в пиві.

Збільшення кількості посівного матеріалу неоднаково позначається на накопиченні окремих вищих спиртів. Так, Древець з співробітниками з'ясували, що при засіві в 4 рази більше звичайного, сума вищих спиртів зменшувалася, але вміст n-пропанолу збільшувалася в 2 рази, ізоамілолу зменшувалася, а кількість активного амідолу залишалася незмінною. Бартенев встановив, що збільшення кількості насінневих дріжджів призводить до збільшення кількості пропілового спирту і зменшення ізобутилового й ізоамілового спиртів.

Донхаузер і Вагнер встановили, що збільшення дози дріжджів дає стійку тенденцію до зростання вмісту вищих спиртів, причому якщо дози в 8 і 15 млн./см<sup>3</sup> не дають помітного збільшення вмісту аліфатичних спиртів, то в разі дози в 30 млн./см<sup>3</sup> цей приріст становить понад 15%. Складні ефіри ведуть себе аналогічним чином. При 30 млн./см<sup>3</sup> має місце найбільший вміст складних ефірів [9, 10, 29].

Збільшення маси дріжджів створює перешкоди для нормальної життєдіяльності дріжджів і тому не може не вплинути на обмін речовин, і, отже, на склад кислот в пиві. За даними деяких дослідників [15] збільшення початкового засіву дріжджів в анаеробних умовах призводить до збільшення вмісту в пиві оцтової і піровиноградної кислот.

У МТХПі проводилося вивчення залежності утворення летючих кислот від величини засіву дріжджів. Було встановлено, що в молодому пиві концентрація жирних кислот зменшувалася зі збільшенням посівної дози дріжджів. Так, при збільшенні засіву з 26,4 до 360 млн. клітин/1 см<sup>3</sup> при температурі 6 °С концентрація летючих жирних кислот знижувалася з 27,5 до 17,54 мг/100 см<sup>3</sup>. Збільшення кількості посівних дріжджів сприяло зростанню оцтової і пропіонової кислот і зменшення кількостей ізомасляної, масляної і ізовалеріанової кислот в загальній сумі летючих кислот, що покращувало якість готового пива.

А. З. Образцовою і С. В. Богобоящою було помічено, що динаміка освіти летючих кислот носить екстремальний характер і максимальна їх кількість залежить від концентрації дріжджових клітин. При дозуванні 40 млн./см<sup>3</sup> накопичення летючих кислот знаходилося в межах 0,2 – 0,3 г/дм<sup>3</sup>.

Німецькі вчені досліджували склад побічних продуктів бродіння, утворених расою 34/70 з колекції Вайенштефане. При засіві дріжджів в 8 і 15 млн./см<sup>3</sup>

значних змін у вмісті складних ефірів не відбувалося. Найбільший вміст ефірів було помічено при засіві 30 млн./см<sup>3</sup> [16].

Збільшення норми введення дріжджів викликає підвищення утворення ацетальдегіду в пиві на початкових стадіях бродіння. При збільшенні кількості поставлених дріжджів в 8,5 разів призводить до збільшення кількості ацетальдегіду в пиві в 1,5 рази.

Дослідження показали, що далеко не завжди збільшення посівної дози дріжджів дозволяє отримати якісне пиво. Зміни в складі побічних продуктів бродіння при підвищеній дозі насінневих дріжджів змінюють органолептичні властивості пива, при цьому може з'явитися і дріжджовий тон в смаку і запаху пива [29, 30].

Таким чином, шляхом оптимізації умов бродіння і підвищення ефективності дії дріжджів можуть бути удосконалені способи бродіння, але при цьому необхідно враховувати вміст у готовому пиві летючих речовин.

Узагальнюючи літературні дані щодо застосування підвищених доз насінневих дріжджів і збільшення температури, можна зробити наступні висновки. За інших рівних умов (аерація сула, температура бродіння) велика доза дріжджів обумовлює великий вміст побічних продуктів бродіння. При дегустації пиво, отримане при максимальній дозі, одержує найнищу оцінку. Зокрема, критику викликає дріжджовий присмак пива.

Підвищення температури також збільшує вміст побічних продуктів бродіння. У результаті ряду експериментів [28] встановлено, що температура бродіння викликає більш значні зміни концентрації летючих побічних продуктів бродіння, ніж вид дріжджів або аерація сула. З точки зору якості перевага віддається пиву, отриманого при низькій температурі головного бродіння [28].

#### **1.4 Висновки, мета та завдання дослідження**

Отже, головною характеристикою виробничих дріжджів є їх бродильна активність. Важливими чинниками, що визначають бродильну здатність дріжджів, є біосинтетична активність клітин і здатність адаптуватися до постійно змінюваних умов довкілля в процесі бродіння.

Біосинтетична активність клітин залежить від харчування дріжджів, їх віку, фізико-хімічних умов зовнішнього середовища. Активність клітин змінюється в зв'язку з осмотичними, гідростатичними, алкогольними, температурними, механічними стресами, стійкість до яких залежить як від штамових особливостей дріжджів, так і від їх фізіологічного стану.

Бродильна активність дріжджів визначає тривалість головного бродіння, фізико-хімічні властивості одержуваного продукту, його біологічну і колоїдну стійкість, а також сенсорний профіль і його стабільність при зберіганні.

Також ефективність виробництва та якість пива в значній мірі залежить від перебігу процесу головного бродіння, його тривалості та параметрів, зокрема його температури. Температура значно впливає на енергетичний і

конструктивний обмін клітин і, отже, впливає на питому швидкість росту дріжджів і час генерації.

Клітини можуть відчувати температурний стрес (шок). Цей ефект проявляється, якщо дріжджі на короткий період часу піддати впливу досить високою (але не вище 37 °С) температури.

На підтримання бродильної активності дріжджів і спрямована робота мікробіолога на великому пивоварному виробництві. Але в умовах міні-пивоварні одним із дієвих заходів по підтриманню вищеназваних показників є використання для першої генерації бродіння сухих пивоварних дріжджів. Дріжджі є живими організмами, тому вкрай необхідно знати способи їх приготування та зберігання, з метою відновлення їх максимальної активності.

Провівши детальний аналіз літературних джерел було сформульовано мету та задачі дослідження.

**Метою даної роботи** є визначення впливу температури приготування і зберігання на бродильну активність пивних дріжджів.

Сформульовано наступні **задачі дослідження**:

1. підбір раси дріжджів для низового бродіння;
2. дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів, а саме ступінь зброджування пива, вміст віцинальних дикетонів, їх фізіологічний стан та флокуляційні властивості;
3. дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів.

## 2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено температури приготування і зберігання дріжджів для забезпечення їх бродильної активності. Оптимальною температурою для приготування та бродіння виявилася 16 °С та зберігання – 2 °С.

### 2.1 Програма проведення аналітичних та експериментальних досліджень

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

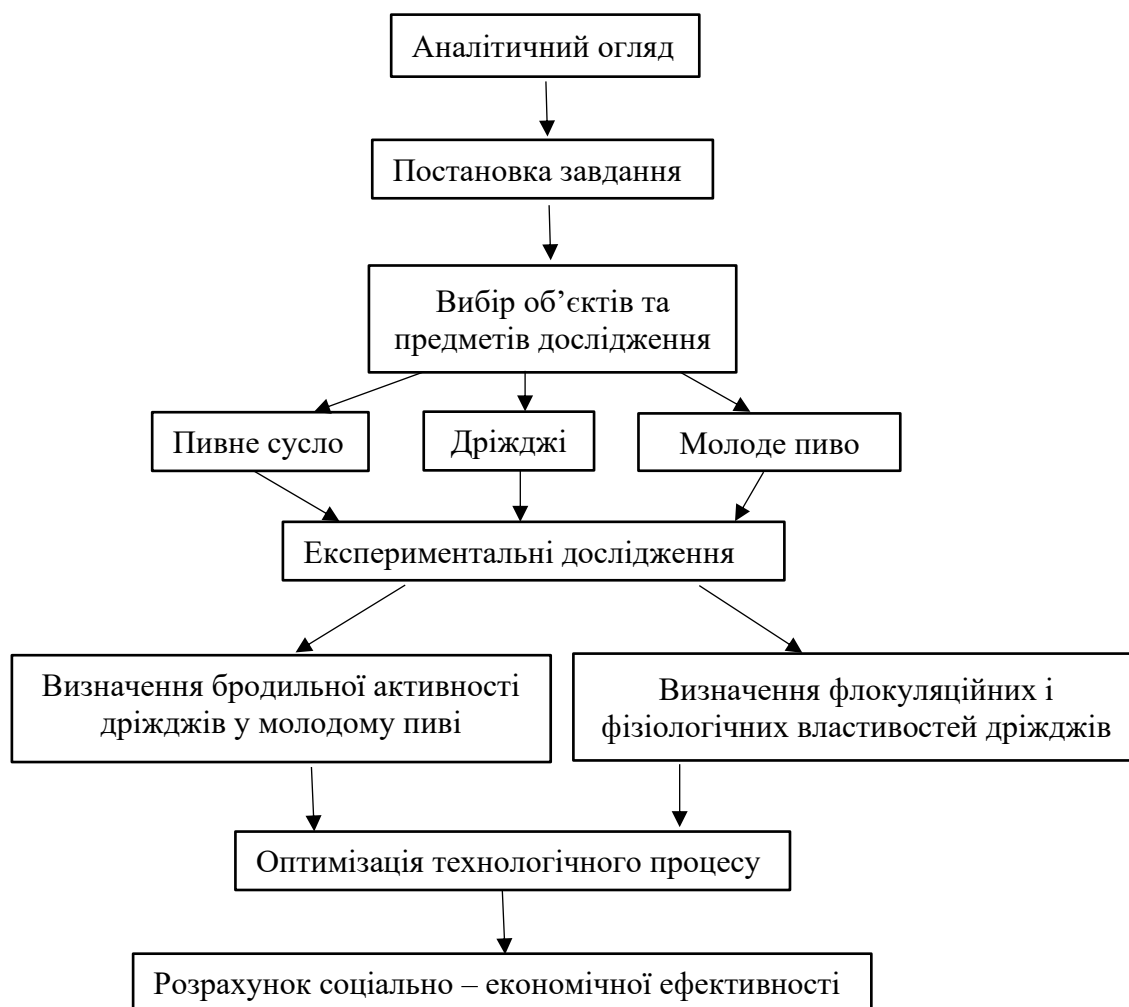


Рис. 2.1. — Схема проведення досліджень

### 2.2 Матеріали досліджень

Для проведення лабораторних досліджень використовували:

- пивне сусло з 100 % світлого ячмінного солоду, яке відповідає вимогам ДСТУ 3888:2015 [7];
- дріжджі раси H124b і H124 LDA [ 38, 39].

## 2.3 Методика досліджень

У даній кваліфікаційній роботі визначення фізико-хімічних показників дріжджів, пивного сусла та молодого пива проводили згідно зальноприйнятих методик у пивоварінні.

*Визначення концентрації сухих речовин* в початковому суслі проводили за допомогою аерометричного методу.

*Предмет досліджень* – пивне сусло та молоде пиво, дріжджі раси H124b і H124 LDA IV генерації. Дослідження проводились у лабораторних умовах.

*Першим етапом* роботи було взяття на пивзаводі для проведення досліджень приготованого охмеленого сусла з початковою масовою часткою сухих речовин 15, 16 і 17 %.

*Другим етапом* визначали бродильну активність дріжджів раси H124b і H124 LDA та фізико-хімічні показники молодого пива за різних концентрацій сухих речовин (15, 16, 17 %).

Як показник бродильної активності вимірювали масу виділеного CO<sub>2</sub>, який контролює процес зброджування сусла, та швидкість бродіння.

У молодому пиві визначали рН, видимий та дійсний екстракт та ступінь зброджування, кислотність.

Після аналізування фізико-хімічних показників молодого пива, одержаного при зброджуванні 2 расами дріжджів, для подальших досліджень було обрана раса H124 LDA.

*На третьому етапі* визначали вплив різних температур (10, 13, 16 і 19 °С) на бродильну активність дріжджів раси H124 LDA у охмеленому суслі з масовою концентрацією сухих речовин 16 %. Як показник бродильної активності вимірювали масу виділеного CO<sub>2</sub>.

У зброженому суслі на 8 день визначали видимий ступінь зброджування, вміст віцинальних дикетонів, флокуляційні та фізіологічні властивості дріжджів.

*Останнім етапом* визначали вплив температури зберігання раси дріжджів H124 LDA на їх фізіологічні властивості, а саме частку мертвих клітин від загальної кількості. Зберігалися дріжджі у молодому пиві з масовою часткою сухих речовин 16 %.

Після закінчення дослідів, результати отримані внаслідок досліджень були оброблені математичним шляхом за допомогою програми Excel : побудовані графіки залежності та зроблені висновки.

## 2.4 Методи досліджень

### **Визначення фізико-хімічних показників сусла та молодого пива:**

1. Визначення концентрації сухих речовин у суслі аерометричним методом. Для аналізу використовують попередньо фільтроване і охолоджене до температури 20 °С сусло. Покази ареометра при температурі 20 °С вказують на вміст сухих речовин у суслі. Коли температура не дорівнює 20 °С, вносять поправку [18].

2. Визначення показника рН молодого пива. Для визначення рН використовують електронний - пристрій рН-метр [16].

3. Визначення кислотності молодого пива. Фільтроване сушло титрують розчином гідроксиду натрію концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup> до появи рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 1 - 2 хв.

Кислотність розраховують за кількістю витраченого розчину гідроксиду натрію 100 см<sup>3</sup> сушла за формулою [16]:

$$X = V \cdot K_n,$$

де  $V$  – об'єм розчину гідроксиду натрію концентрацією 1 моль / дм<sup>3</sup>, витрачений на титрування;

$K_n$  – коефіцієнт поправки робочого розчину гідроксиду натрію.

4. Вміст ВДК в молодому пиві спектрофотометричним методом. *Метод аналізу:* відфільтрувати пиво 200 см<sup>3</sup> налити в плоскодонну колбу на 500 см<sup>3</sup> та провести дистиляцію до утворення в приймальній колбі 50 см<sup>3</sup> дистиляту. Підготувати три пробірки. У дві з них додати по 10 см<sup>3</sup> дистильованої води. Потім в першу додати 0,5 см<sup>3</sup> фенілендіаміну, в другу діацетил робочий розчин 0,1 см<sup>3</sup>. У третю пробірку вносимо дистиляту 10 см<sup>3</sup> та 0,5 см<sup>3</sup> фенілендіамін. Добре перемішати та залишити в темному місці на 20 - 30 хв після чого додати по 2 см<sup>3</sup> 4 М. НСІ. Добре перемішати та провести вимірювання на спектрофотометрі при довжині хвилі 335 нм.

**Проведення бродильних проб.** Стерильне охмелене сушло об'ємом 0,2 дм<sup>3</sup> переливали в стерильну колбу об'ємом 0,25 дм<sup>3</sup>, до якої додавали визначену кількість чистої культури дріжджів. Потім колбу щільно закривали гідрозатвором, який заповнений розчином H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (концентрацією 1:4). Колбу зважували та отриману масу вважали як вихідну точку розрахунку для визначення динаміки бродіння за масою виділеного СО<sub>2</sub> протягом головного бродіння, визначаючи зміну маси щодоби. Колбу поміщали в термостат та проводили головне бродіння за визначеної температури та тривалості.

Динаміку зброджування сушла досліджували за масою виділеного діоксиду вуглецю, будували графічні залежності маси СО<sub>2</sub> від тривалості бродіння та за кутом нахилу кривої визначали швидкість бродіння (г СО<sub>2</sub>/ добу).

Молоде пиво відділяли від дріжджів після завершення головного бродіння за допомогою центрифугування при частоті обертів 4000 хв<sup>-1</sup> впродовж 10 хв. При зважуванні центрифужних пробірок визначали біомасу дріжджів.

У молодому пиві, яке уже відділене від дріжджів, визначали рН, кислотність, вміст екстракту, ступінь зброджування.

Далі одержане молоде пиво охолоджували до температури 0 - 2 °С та переливали в колбу об'ємом 0,2 дм<sup>3</sup>, яку щільно закривали корком та поміщали в термостат, де проводили доброджування за температури 0 - 2 °С. По завершенні доброджування пиво центрифугували при частоті обертів 4000 хв<sup>-1</sup> впродовж 10 хв.

У пиві, що відділили від дріжджів, визначали видимий ступінь зброджування та вміст ВДК у дослідних зразках.

**Визначення бродильної активності дріжджів.** Для визначення бродильної активності дріжджів використовували два методи:

1. за кутом нахилу кривої зміни маси виділеного  $\text{CO}_2$  відносно тривалості;
2. експрес-метод Варбурга ( $\text{cm}^3 \text{CO}_2/\text{добу.}$ ) [16].

Для оцінки бродильної активності дріжджів використовується модифікація методу визначення інтенсивності виділення діоксиду водню в апараті Варбурга.

В основі модифікації апарата Варбурга лежить той же метод технологічної оцінки активності дріжджів за інтенсивністю виділення  $\text{CO}_2$ , в якому враховувався не час, витрачений на утворення  $10 \text{ cm}^3$  діоксиду вуглецю, а кількість вуглекислоти, виділеної досліджуваними дріжджами за 1 год. Це дозволяє використовувати таймер і спрощує процедуру оцінки активності дріжджів. Час інкубації при необхідності можна скоротити.

*Методика визначення :*  $1 \text{ cm}^3$  досліджуваних дріжджів помістити в скляний стакан об'ємом  $50 \text{ cm}^3$  і додати  $0,5 \text{ cm}^3$  40% -й глюкози або мальтози,  $0,25 \text{ cm}^3$  8-кратного середовища YP ( $8 \times 2\%$  пептона,  $8 \times 2\%$  дріжджового екстракту) і  $0,25 \text{ cm}^3$  води. Усе ретельно перемішати піпеткою і набрати в одноразовий медичний шприц об'ємом  $10 \text{ cm}^3$ , намагаючись уникнути утворення бульбашок повітря. Видавити залишки повітря зі шприца і герметично запаяти його кінець. Для цього слід нагріти кінець шприца в полум'ї спиртівки і пластик, що розплавився стиснути металевим пінцетом.

Герметично запаяні шприци поставити в термостат при температурі  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  на 1 год. Через 1 год заміряти висоту підйому поршня в шприці. По висоті підйому поршня визначити кількість утвореного  $\text{CO}_2$ . За кількістю виділеного діоксиду вуглецю можна оцінити бродильну активність дріжджів.

#### **Визначення флокуляційних та фізіологічних властивостей дріжджів:**

1. Вміст нежиттєздатних клітин визначали забарвленням дріжджів метиленовим синім. Після потрапляння в клітинну цитоплазму під дією ферментів редуктаз цей барвник відновлюється живими дріжджовими клітинами до безбарвних з'єднань. Мертві клітини фарбуються в синій колір.

*Методика фарбування :* Для визначення кількості мертвих клітин на предметне скло наносять по одній краплі нефільтрованої дріжджової суспензії і розчину метиленової сині. Краплю закривають покривним склом, надлишок рідини збирають листком фільтрувального паперу і через 2 хв спостерігають пофарбований препарат за допомогою мікроскопа. В полі зору мікроскопа рахують загальну кількість дріжджових клітин, потім тільки сині, після чого препарат пересувають і підрахунок ведуть в новому полі зору. Таким чином підраховують загальну кількість клітин (не менше 500) в п'яти полях зору. Після підрахунку обчислюють кількість мертвих клітин у відсотках [16, 17].

2. Вміст клітин з глікогеном визначали за забарвленням клітин розчином Люголя. Фізіологічний стан можна визначити за складом клітини, наприклад по запасним вуглеводів, одним з яких є глікоген.

Кількість глікогену в клітинах дріжджів змінюється в залежності від їх віку та умов культивування. Для оцінки використовується розчин Люголя. Розчин Люголя забарвлює клітини в жовтий колір, а глікоген в коричневий. У зрілих клітинах глікоген займає від  $1/3$  до  $2/3$  клітини і більш. У клітинах з низькою

фізіологічною активністю пофарбований глікоген займає менше 1/4 клітини. У молодих клітинах глікоген відсутня, а клітини при фарбуванні розчином йоду набувають блідо-жовтий колір.

Приготування розчину Люголя: 2 г йодистого калію розчиняють в 5 см<sup>3</sup> дистильованої води та додають до розчину 1 г кристалічного йоду. Після розчинення йоду отриманий розчин доводять дистильованою водою до об'єму 300 см<sup>3</sup>.

*Методика фарбування :* для якісної оцінки рівня глікогену в дріжджових клітинах на предметне скло петлею наносять невелику кількість дріжджової суспензії і 2 - 3 краплі розчину Люголя. Краплю накривають покривним скельцем, надлишок рідини видаляють фільтрувальною папером і проводять мікроскопію. Через 2 - 3 хв клітини дріжджів фарбуються в жовтий колір, а глікоген в коричневий [16].

3. Концентрацією дріжджових клітин у молодому пиві визначали підрахунком у камері Горяєва. Цей метод рекомендується використовувати для підрахунку великих об'єктів – дріжджів, одноклітинних водоростей, конідій грибів і деяких щодо великих бактерій. Камера Горяєва являє собою товсте предметне скло, розділене борозенками. На центральну частину скла нанесена сітка. Площа квадрата сітки зазначена на одній зі сторін предметного скла й відповідає 1/25 мм<sup>2</sup> (великий квадрат) або 1/400 мм<sup>2</sup> (малий квадрат). Частина предметного скла, на якій нанесена сітка, на 0,1 мм нижче двох інших сторін. Це глибина камери; вона завжди вказується на предметному склі.

*Метод аналізу :* При роботі з камерою необхідно дотримуватися певного порядку її заповнення. Спочатку заглиблення із сіткою покривають спеціальним шліфованим покривним склом і, злегка притискаючи, зміщують покривне скло в протилежні сторони до появи кілець Ньютона. Це вказує на те, що покривне скло притерте до сторін камери. Тільки за такої умови об'єм суспензії мікроорганізмів, що перебуває в камері, відповідає розрахунковому. Після цього камеру заповнюють досліджуваною суспензією мікроорганізмів.

Суспензію вносять через борозенку камери капіляром або піпеткою. Підрахунок клітин рекомендується починати через 3 - 5 хв після заповнення камери, щоб клітини осіли і у ході мікроскопіювання були видимі в одній площині.

Кількість клітин підраховують із об'єктивом 8× або 40×. Підраховують клітини мікроорганізмів в 10 великих або 20 маленьких квадратах сітки, переміщаючи останні по діагоналі. Враховують всі клітини, що лежать у квадраті сітки, а також клітини, що перетинають верхню й праву сторони квадрата. При підрахунку кількість клітин у великому квадраті не повинно перевищувати 20, а в малому – 10, у іншому випадку вихідну суспензію розводять водопровідною водою. Для одержання достовірного результату загальне число підрахованих клітин мікроорганізмів повинне бути не менш 600 [2].

Кількість клітин в 1 см<sup>3</sup> досліджуваної суспензії обчислюють за формулою:

$$M = \frac{a \cdot 10^3}{h \cdot 5} \cdot n$$

де  $M$  – кількість клітин в  $1 \text{ см}^3$  суспензії;  $a$  – середня кількість клітин у квадраті сітки;  $h$  – висота камери в мм;  $S$  – площа квадрата сітки в  $\text{мм}^2$ ;  $10^3$  – коефіцієнт переведення  $\text{см}^3$  у  $\text{мм}^3$ ;  $n$  - розведення досліджуваної суспензії.

### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ ДРІЖДЖІВ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА)**

З метою дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність проведено дослідницьку роботу. Вона складалася з наступних задач:

1. підбір раси дріжджів для низового бродіння;
2. дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів, а саме ступінь зброджування пива, вміст віцинальних дикетонів, їх фізіологічний стан та флокуляційні властивості;
3. дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів.

Зброджування охмеленого сусла об'ємом 0,2 дм<sup>3</sup> концентрацією 15, 16 і 17 % сухих речовин при концентрації дріжджів 25 млн. клітин в 1 см<sup>3</sup> сусла проводили за участю досліджуваних рас дріжджів (H124b і H124 LDA) IV генерації протягом 8 діб. Для адекватного порівняння динаміки процесу за участю дріжджів низового бродіння обрано температуру 15 °С, при якій активні обидві раси дріжджів. Процес зброджування сусла контролювали за масою виділеного вуглекислого газу. У молодому пиві визначали рН, кислотність, ступінь зброджування та вміст екстракту.

Для дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів використовували дріжджі низового бродіння раси H124 LDA з вмістом 16 % сухих речовин у суслі. Процес бродіння проводили протягом 8 діб і контролювали за масою виділеного вуглекислого газу. У молодому пиві визначали ступінь зброджування, вміст віцинальних дикетонів, флокуляційні та фізіологічні властивості дріжджів.

Для визначення температури зберігання використовували дріжджі низового бродіння раси H124 LDA, які зберігали у молодому пиві з вмістом сухих речовин 16 %. Вимірювання цього показника проводили протягом 48 годин.

#### **3.1 Дослідження впливу низових рас дріжджів на фізико – хімічні показники сусла**

Одним із способів селекції дріжджів для їх подальшого використання у високогустинному пивоварінні є зброджування субстратів з високим вмістом сухих речовин. Порівняння динаміки головного бродіння висококонцентрованих сусел концентрацією 15 – 17% сухих речовин проводили за участю низових рас дріжджів – H124b та H124LDA.

Бродильна активність дріжджів – важлива технологічна властивість, оскільки визначає тривалість головного бродіння, фізико-хімічні показники пива, його біологічну стійкість. Бродильну активність дріжджів оцінюють за швидкістю споживання цукрів, кількості CO<sub>2</sub>, який виділяється при цьому, і ступенем зброджування сусла. Бродильну активність дріжджів визначали експрес-методом (модифікація методу Варбурга).

**Маса виділеного CO<sub>2</sub>.** Оскільки під час бродіння виділяється CO<sub>2</sub>, то результати дослідження маси виділеного CO<sub>2</sub> у суслі з вмістом сухих речовин 15% під час бродіння наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Зміна маси виділеного CO<sub>2</sub> з вмістом сухих речовин 15% у залежності від тривалості бродіння

Тривалість бродіння, діб	Маса виділеного CO <sub>2</sub> , г	
	H124b	H124 LDA
0	0	0
2	1,9	2,4
4	5,8	7,6
6	8,1	8,4
8	9,7	9,9

На рис. 3.1 зображена динаміка бродіння сусла з вмістом сухих речовин 15%.

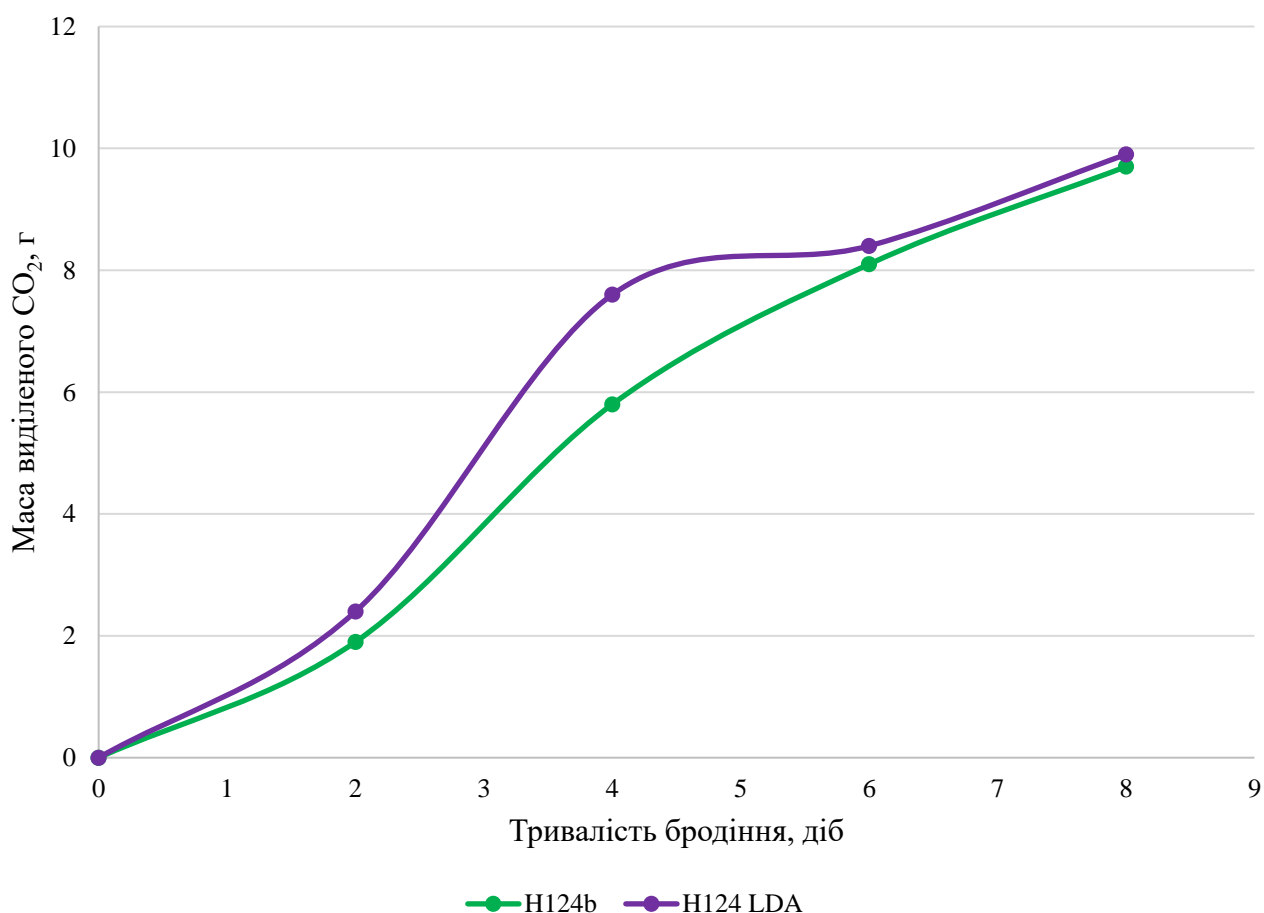


Рис. 3.1. – Динаміка бродіння сусла з вмістом сухих речовин 15% за участю дріжджів низових рас

З рисунку 3.1 видно, що значних відмінностей у виділенні CO<sub>2</sub> двома расами дріжджів низового бродіння H124b та H124 LDA на 8 день не спостерігалось.

Результати дослідження маси виділеного CO<sub>2</sub> у суслі з вмістом сухих речовин 16% під час бродіння наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Зміна маси виділеного CO<sub>2</sub> з вмістом сухих речовин 16% у залежності від тривалості бродіння

Тривалість бродіння, діб	Маса виділеного CO <sub>2</sub> , г	
	H124 LDA	H124b
0	0	0
2	2,6	3,4
4	7,6	8,1
6	9,8	9,7
8	11,1	10,5

На рис. 3.2 зображена динаміка бродіння суслу з вмістом сухих речовин 16%.

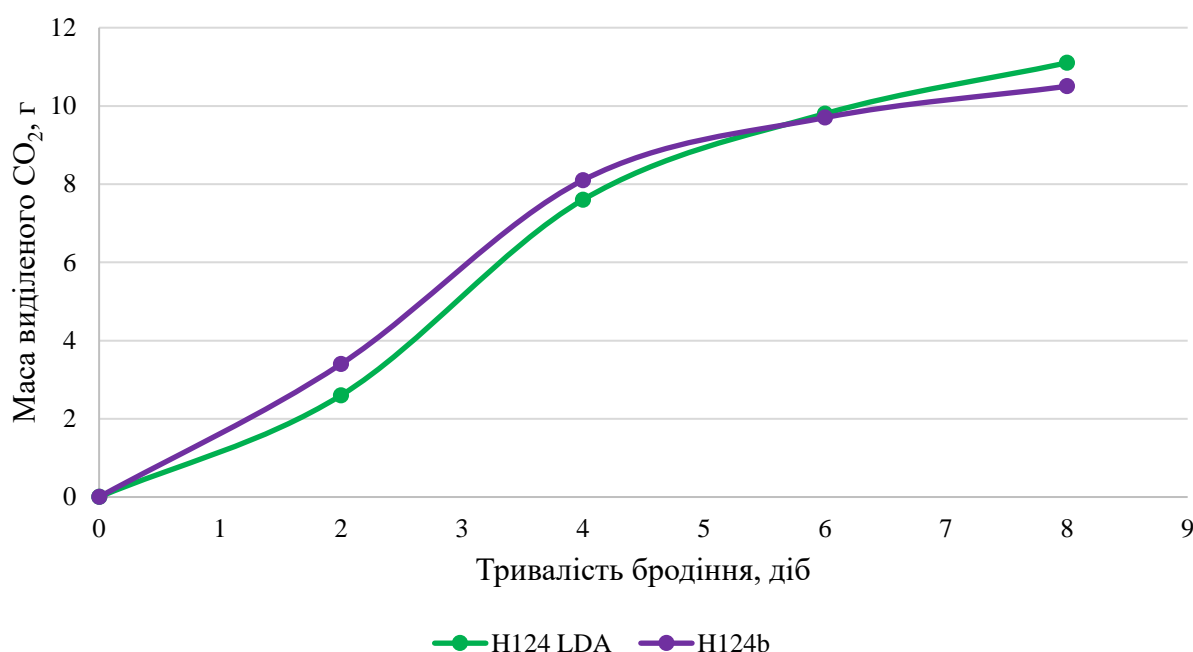


Рис. 3.2. – Динаміка бродіння суслу з вмістом сухих речовин 16% за участю дріжджів низових

З рисунку 3.2 видно, що раса дріжджів H124 LDA під час бродіння виділяє більше CO<sub>2</sub>, ніж раса H124b.

Результати дослідження маси виділеного CO<sub>2</sub> у суслі з вмістом сухих речовин 17% під час бродіння наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Зміна маси виділеного CO<sub>2</sub> з вмістом сухих речовин 17% у залежності від тривалості бродіння

Тривалість бродіння, діб	Маса виділеного CO <sub>2</sub> , г	
	H124 LDA	H124b
0	0	0
2	2,8	3,1
4	7,4	7,8
6	9,6	9,8
8	10,7	10,4

На рис. 3.3 зображена динаміка бродіння сусла з вмістом сухих речовин 17%.

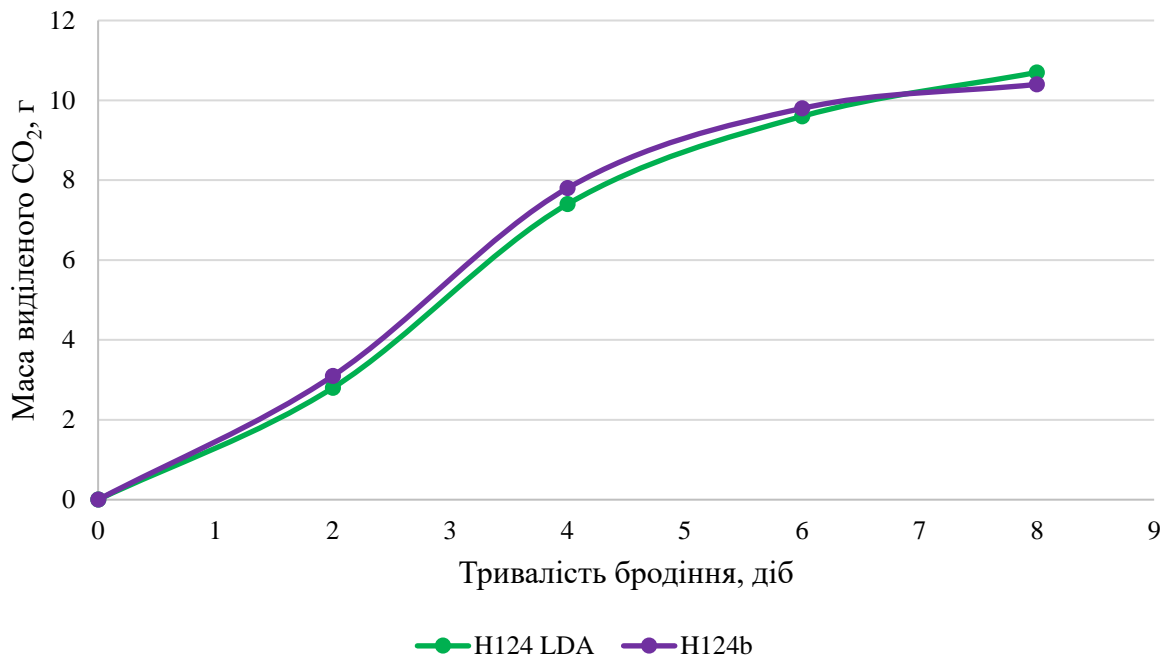


Рис. 3.3. – Динаміка бродіння сусла з вмістом сухих речовин 17% за участю дріжджів низових

З рисунку 3.3 видно, що значних відмінностей у виділенні CO<sub>2</sub> двома расами дріжджів низового бродіння H124b та H124 LDA на 8 день не спостерігалось.

**Швидкість бродіння сусла.** На рисунку 3.4 зображено зміну швидкості бродіння сусел концентрацією 15, 16 і 17% сухих речовин за участю дріжджів низових рас H124b та H124 LDA.

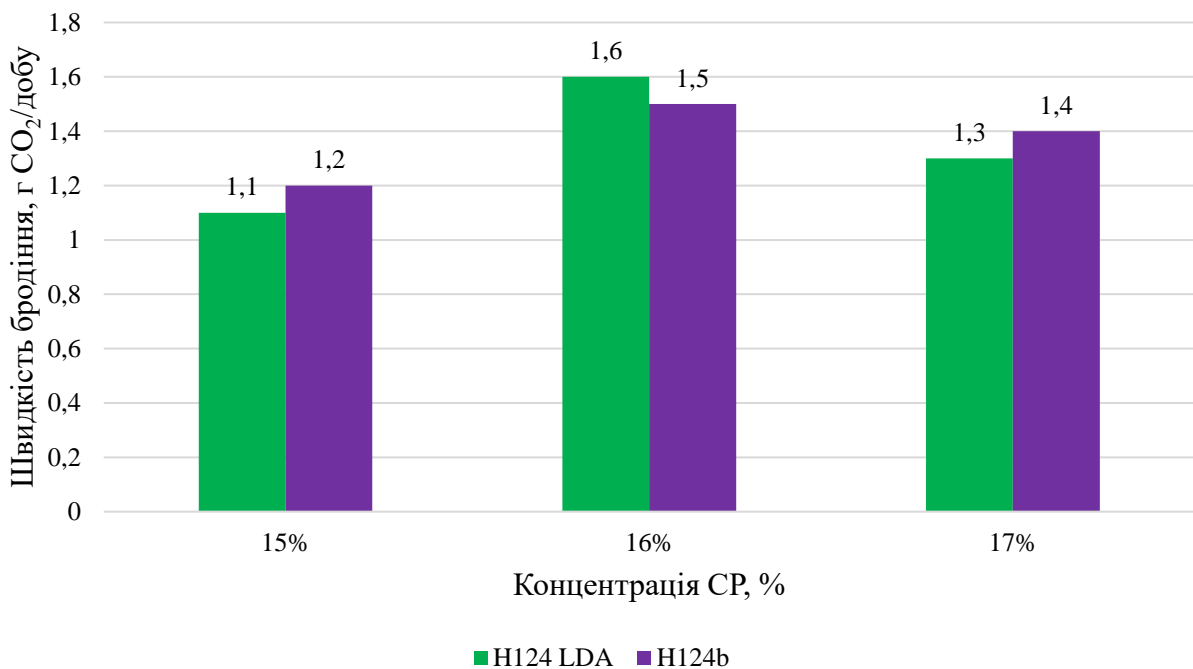


Рис. 3.4. – Швидкість бродіння сусел концентрацією 15 – 17% сухих речовин за участю дріжджів низових рас

З рисунку 3.4 видно, що швидкість бродіння сусла при концентрації 16% сухих речовин для H124 LDA склалала 1,6 г CO<sub>2</sub>/добу та 1,5 г CO<sub>2</sub>/добу для H124b, що є вищою, ніж за вмісту у суслі 15 і 17 % сухих речовин.

**Фізико – хімічні показники.** У технології пивоваріння важливе значення має якість одержуваного продукту, тому досліджували фізико-хімічні показники молодого пива, отриманого при зброджуванні сусел за участю низових рас дріжджів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Фізико - хімічні показники молодого пива

Показники молодого пива	Раса пивних дріжджів		Раса пивних дріжджів		Раса пивних дріжджів	
	H124 LDA	H124b	H124 LDA	H124b	H124 LDA	H124b
Концентрація сусла, % мас.	15		16		17	
Вміст екстракту (% мас.):						
видимий	2,71	2,78	2,85	3,15	3,22	3,31
дійсний	4,36	4,48	4,43	4,72	4,89	4,96
Ступінь зброджування (%):						
видимий	81,93	81,47	82,18	80,31	81,06	80,53
дійсний	70,93	70,13	72,31	70,50	71,23	70,82
pH	4,70	4,57	4,61	4,42	4,60	4,69
Кислотність, см <sup>3</sup> розчину 1 моль/дм <sup>3</sup> NaOH/100 см <sup>3</sup>	2,5	2,6	3,1	3,2	2,9	2,6
Вміст ВДК, мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,17	0,14	0,16	0,18	0,21

З таблиці 3.5 видно, що зразки молодого пива, отриманого за участю дріжджів рас H124b і H124 LDA містять 4,36 – 4,96 % мас. дійсного екстракту. Для цих зразків характерні ступені зброджування від 70,13 до 72,31 %.

Величина pH усіх зразків пива знаходиться в межах норми (4,2–4,7). Кислотність усіх зразків відповідає вимогам стандарту, зокрема зразки пива, отриманого з 15 %-го сусла, мають кислотність 2,5 і 2,6 см<sup>3</sup> розчину 1 моль/дм<sup>3</sup> NaOH/100 см<sup>3</sup> (за стандартом 2,1 – 3,6), із 16 %-го сусла – 3,1 і 3,2 (2,5 – 4,5), із 17 %-го сусла – 2,6 і 2,9 (2,5 – 4,5).

Вміст віцинальних дикетонів (2,3 - бутандіону і 2,3 - пентандіону) – побічних продуктів бродіння, які мають значний вплив на органолептичні властивості пива, в усіх зразках молодого пива становлять від 0,10 до 0,19 мг/дм<sup>3</sup>. Він відповідає вмісту в молодому пиві перед стадією доброджування та

дозрівання (0,3 – 0,6 мг/дм<sup>3</sup>), а деякі зразки – вмісту в готовому пиві (0,1 - 0,12 мг/дм<sup>3</sup>).

Отже, кращими фізико-хімічними показниками характеризуються зразки молодого пива, отримані за участю раси низового бродіння H124 LDA, яка забезпечує високий ступінь зброджування вуглеводів сусла порівняно з іншою дослідженою расою пивних дріжджів. Також перша раса має нижчий вміст ВДК у молодому пиві, який одержаний в усьому діапазоні концентрацій сусла. При цьому H124 LDA має і вищу бродильну активність у порівнянні з H124b.

Зважаючи на вище зазначене для подальших досліджень обираємо расу низового бродіння H124 LDA та сусло з початковою концентрацією сухих речовин 16 %.

### 3.2 Дослідження впливу температури приготування на бродильну активність дріжджів

У теорії зброджування сусла низовими дріжджами проводять при температурі 10 °С. Однак для інтенсифікації бродіння температуру збільшують. Від значення температури буде значно залежати динаміка бродіння сусла, ступінь зброджування та концентрація віцинальних дикетонів. Для цього досліджували зброджування сусла концентрацією 16 % сухих речовин в діапазоні температур 10 – 19 °С протягом 8 діб.

**Маса виділеного CO<sub>2</sub>.** Оскільки під час бродіння виділяється CO<sub>2</sub>, то результати дослідження маси виділеного CO<sub>2</sub> у суслі з вмістом сухих речовин 16 % під час бродіння за температур 10, 13, 16 і 19 °С наведені у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Зміна маси виділеного CO<sub>2</sub> у залежності від тривалості бродіння

Тривалість бродіння, діб	Маса виділеного CO <sub>2</sub> , г			
	10 °С	13 °С	16 °С	19 °С
0	0	0	0	0
2	0,9	3,1	4,1	3,9
4	1,8	5,9	7,4	6,5
6	2,7	8,1	10,8	8,9
8	3,5	9,3	11,1	10,1

На рис. 3.5. зображена динаміка зброджування сусла за різних температур.

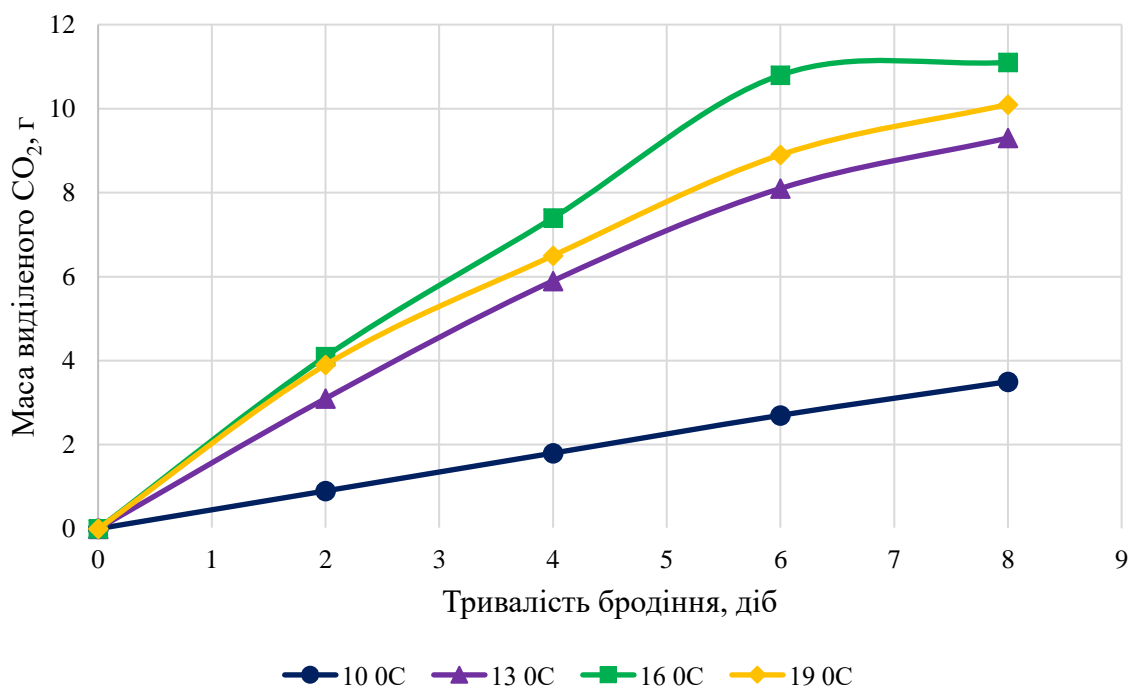


Рис. 3.5. – Динаміка зброджування сусла за різних температур

З рисинку 3.5 видно, що при температурі 10 °C бродильна активність досліджуваної раси є дуже низькою. Підвищення температури бродіння до 16 °C спричиняє суттєве зростання бродильної активності, що може бути зумовлено збільшенням активності ферментів гліколізу. При температурі 16 °C спостерігається найвища бродильна активність раси H124 LDA. При подальшому збільшенні температури до 19 °C бродильна активність трохи зменшується.

**Видимий ступінь зброджування.** На рис. 3.6 зображено вплив температури бродіння на видимий ступінь зброджування у молодому пиві.

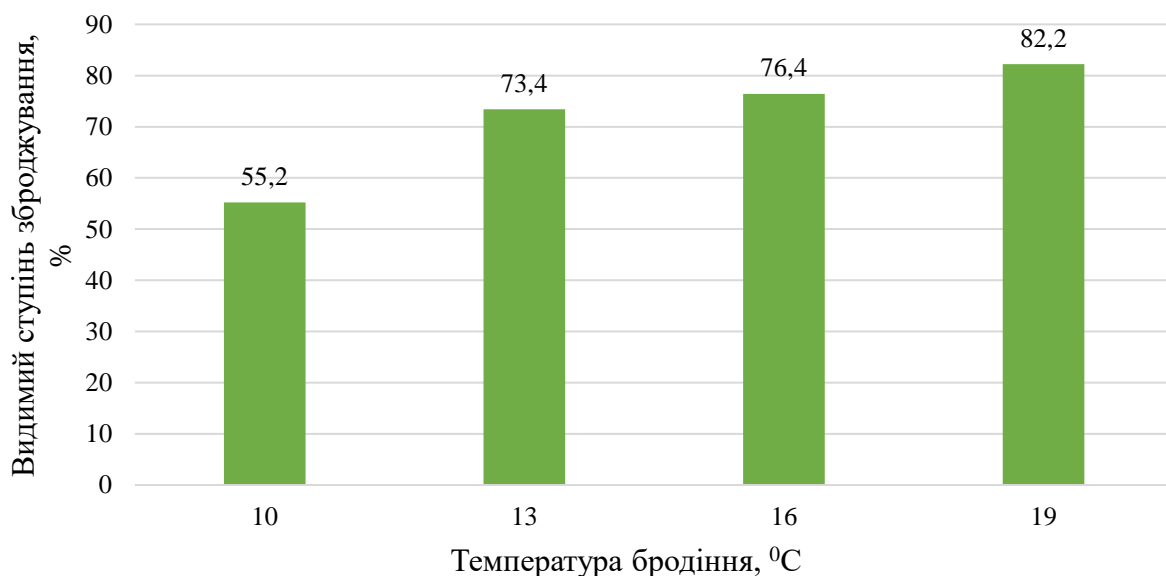


Рис. 3.6. – Вплив температури бродіння на видимий ступінь зброджування в молодому пиві

З рисунку 3.6 видно, що при підвищенні температури бродіння від 10 до 13 °С відбувається збільшення ступеню зброджування молодого пива майже у півтора рази, при подальшому збільшенні температури відмінність у ступені зброджування не є такою суттєвою.

**Вміст віцинальних дикетонів.** Важливим критерієм оптимізації є вміст віцинальних дикетонів у пиві, які значною мірою впливають на смакові якості напою та визначають тривалість дозрівання пива. На рис. 3.7 зображено вплив температури бродіння на вміст віцинальних дикетонів у молодому пиві.

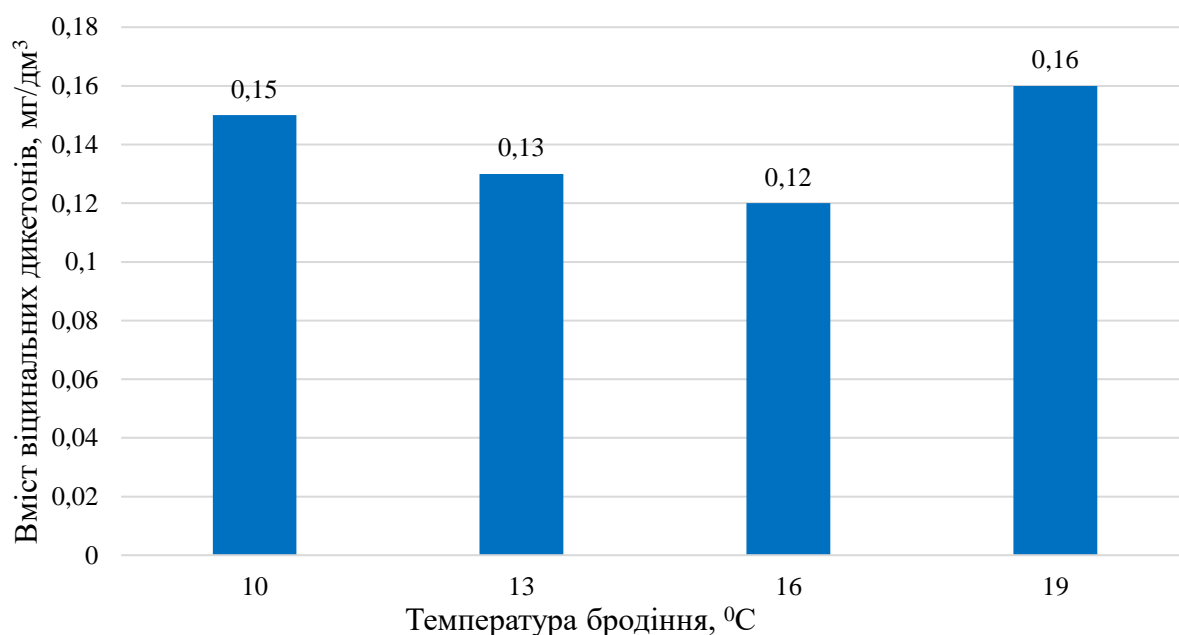


Рис. 3.7. – Вплив температури бродіння на вміст віцинальних дикетонів у молодому пиві

З рисунку 3.7 видно, що концентрація віцинальних дикетонів трохи зростає при підвищенні температури від 10 до 13 °С, що можна пояснити менш активним бродінням при низьких температурах і, як наслідок, утворюється менша кількість віцинальних дикетонів. При збільшенні температури в діапазоні 13 – 16 °С вміст віцинальних дикетонів знижується, що зумовлено їх швидшим відновленням при підвищенні температури, й трохи підвищується при температурі 19 °С.

Відомо, що збільшення температури сприяє швидшому перетворенню попередників віцинальних дикетонів ацетогідроксикислот у віцинальні дикетони та їх швидшій редукції. Ймовірно, нагромадження більшої концентрації віцинальних дикетонів при температурі 19 °С зумовлене швидшим перетворенням ацетогідроксикислот у віцинальні дикетони при повільній їх редукції.

**Флокуляційні властивості.** Осідання низових дріжджів має важливе значення на завершальному етапі головного бродіння. Цей процес пов'язаний із флокуляцією клітин. Під час флокуляції важлива роль належить клітинній стінці

дріжджів, яка має складну будову та утворює зв'язки між клітинами. Температура є основним чинником впливу на флокуляцію дріжджів.

Флокуляційні властивості дріжджів оцінювали за концентрацією дріжджових клітин в молодому пиві після закінчення головного бродіння (рис. 3.8).

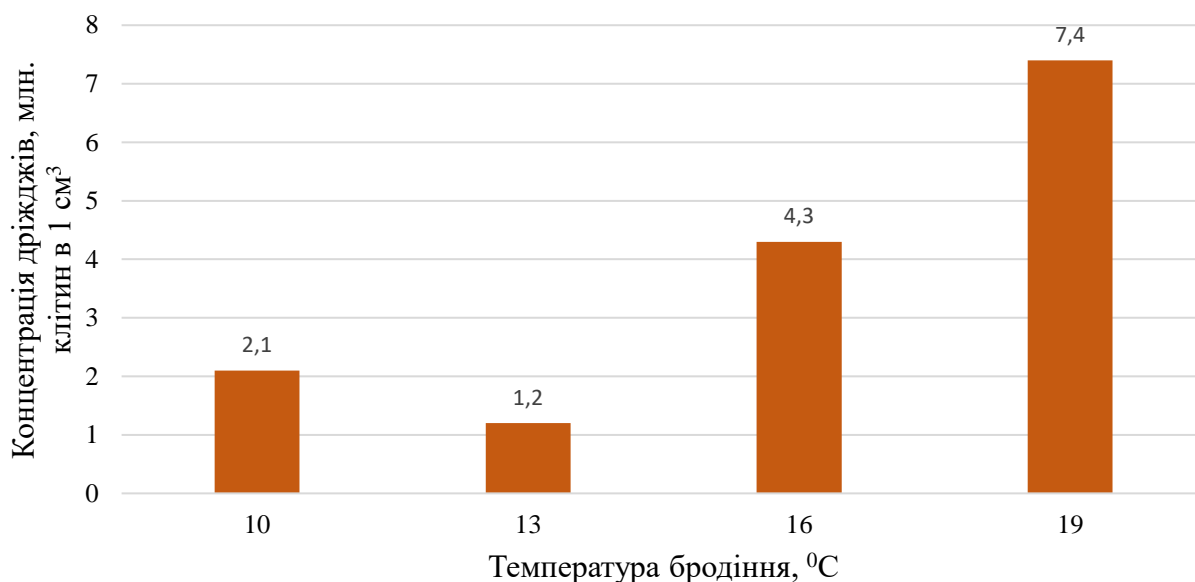


Рис. 3.8. – Вплив температури бродіння на концентрацію дріжджів у молодому пиві

З рисунку 3.8 видно, що зі зростанням температури в діапазоні 10 – 16 °C значення концентрації дріжджів у молодому пиві є близьким (1,2 – 4,3 млн. клітин в 1 см<sup>3</sup> пива), тоді як підвищення температури до 19 °C зумовлює зниження здатності дріжджів до флокуляції і збільшення їх концентрації в молодому пиві у 2 - 7 разів.

**Фізіологічні властивості.** Фізіологічний стан клітин перед зброджуванням визначає ефективність бродіння та якість пива. Під час серійного культивування дріжджів він може погіршуватися.

Фізіологічний стан оцінюють шляхом визначення специфічних компонентів клітин важливих для ферментації. Два основні внутрішньоклітинні вуглеводи трегалоза та глікоген найчастіше використовуються як фізіологічно важливі речовини. Глікоген є основним матеріалом зберігання енергії в дріжджових клітинах. Важливо, щоб культура дріжджів перед повторним використанням у наступній ферментації суслу містила максимальну кількість внутрішньоклітинного глікогену. Дріжджі, які виснажені за рівнем глікогену, викликають неповне бродіння.

На рис. 3.9 зображено вплив температури бродіння на фізіологічні властивості дріжджів, які оцінювали за кількістю мертвих клітин та клітин з глікогеном.

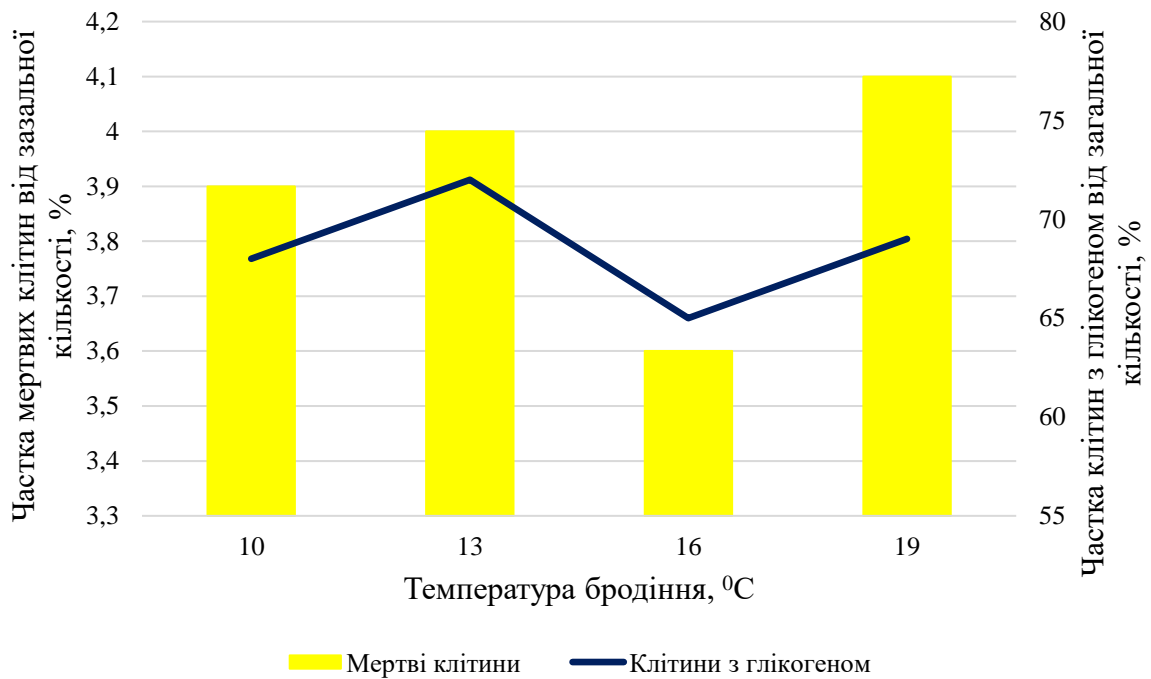


Рис. 3.9. – Вплив температури бродіння на фізіологічні властивості дріжджів

З рисинку 3.9 видно, що збільшення температури практично не впливає на вміст мертвих дріжджових клітин, який в середньому становив 4 %. Їх концентрація відповідає значенням концентрацій, якої дотримуються на пивоварних підприємствах.

Збільшення температури від 10 до 16 °C несуттєво впливає на здатність дріжджів запасати поживні речовини, так як частка дріжджових клітин з глікогеном трохи збільшувалась при підвищенні температури від 10 до 13 °C та практично не відрізнялась при температурах бродіння 13 – 16 °C. Підвищення температури бродіння до 19 °C призводить до підвищення частки клітин з глікогеном (на 4 %), що свідчить про погіршення фізіологічних властивостей дріжджів.

Отже, при температурі 10 °C бродіння відбувається повільно та припиняється передчасно. Проведення бродіння при 19 °C дозволяє досягти високого ступеня зброджування, проте погіршуються фізіологічні властивості дріжджів, зокрема знижується вміст клітин з глікогеном та погіршуються флокуляційні властивості дріжджів. При проведенні бродіння за температури 13 °C значно зростає вміст віцинальних декотонів, що впливає на смак пива. Зважаючи на це рекомендовано проводити зброджування суслу при температурі 16 °C, що буде сприяти одержанню необхідного ступеню зброджування, збереженню фізіологічних та флокуляційних властивостей дріжджів.

### 3.3 Дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів

Оскільки фізіологічний стан дріжджів має вплив на бродильну активність, то розглянемо частку мертвих клітин за різних температур зберігання (2, 4 і

6 °C). Дріжджі після зняття з ЦКТ, тобто ті, які мають 1 і більше генерацій, рекомендовано зберігати не більше 2 – 3 діб.

Для дослідження використовували дріжджі низового бродіння раси H124 LDA IV генерації, які зберігали у молодому пиві з вмістом сухих речовин 16 %.

Результати дослідження частки мертвих клітин від загальної кількості при зберіганні за температур 2 °C наведені на рис. 3.10.

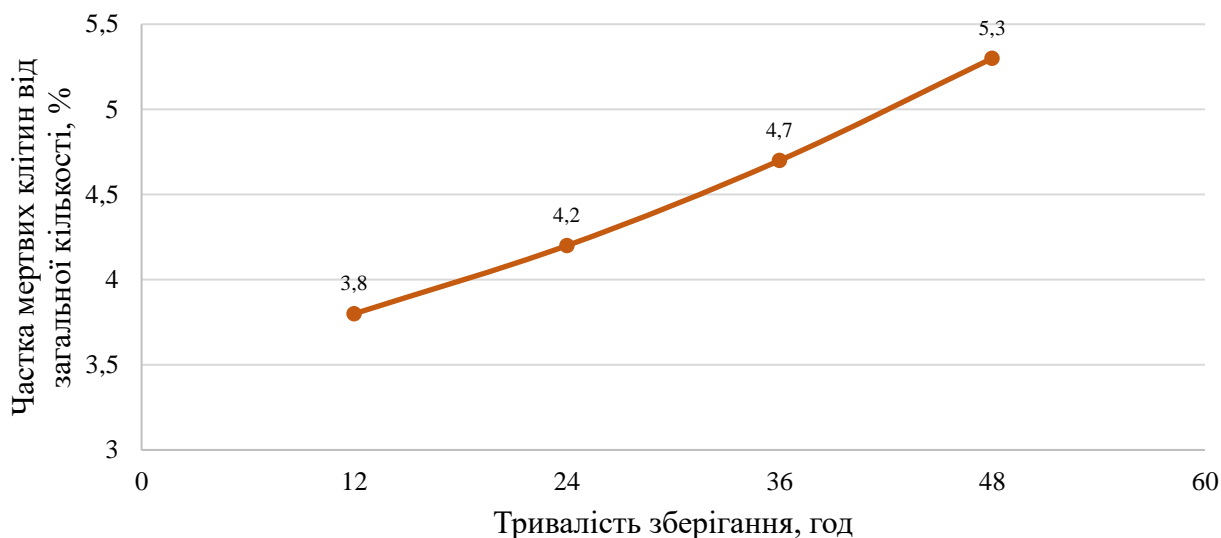


Рис. 3.10. – Вплив температури зберігання (2 °C) на фізіологічні властивості дріжджів

З рисунку 3.10 видно, що зі збільшенням терміну зберігання зростає кількість мертвих клітин, а саме на 2 добу складає 5,3 %. Проте їх концентрація відповідає значенням, яких дотримуються на пивоварних підприємствах (до 10 %).

Результати дослідження частки мертвих клітин від загальної кількості при зберіганні за температури 4 °C наведені на рис. 3.11.

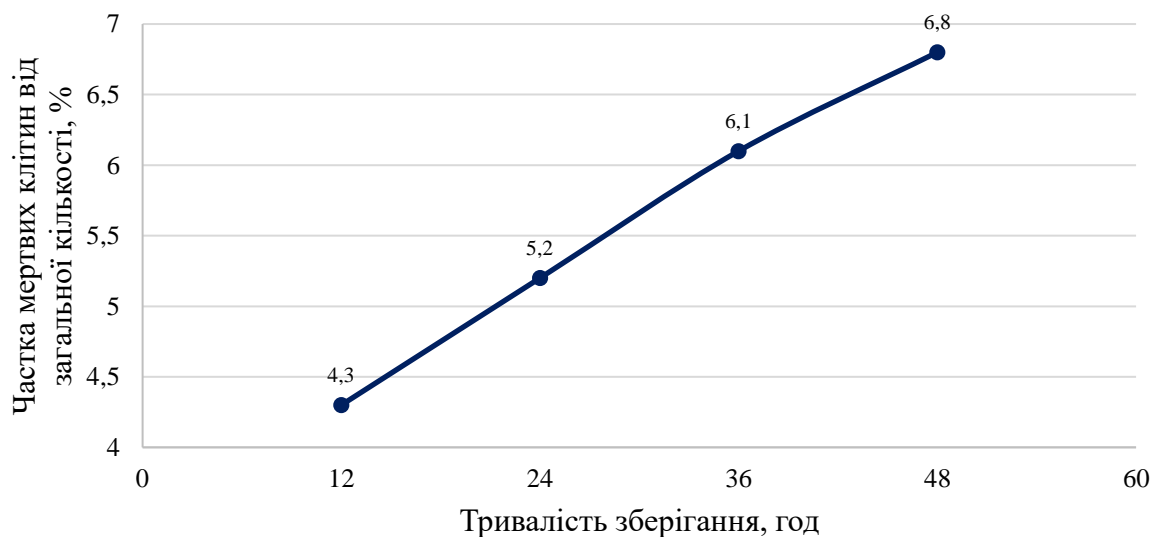


Рис. 3.11. – Вплив температури зберігання (4 °C) на фізіологічні властивості дріжджів

З рисунку 3.11 видно, що зі збільшенням терміну зберігання зростає кількість мертвих клітин, а саме на 2 добу складає 6,8 %. Проте їх концентрація відповідає значенням, яких дотримуються на пивоварних підприємствах (до 10 %).

Результати дослідження частки мертвих клітин від загальної кількості при зберіганні за температури 6 °C наведені на рис. 3.12.

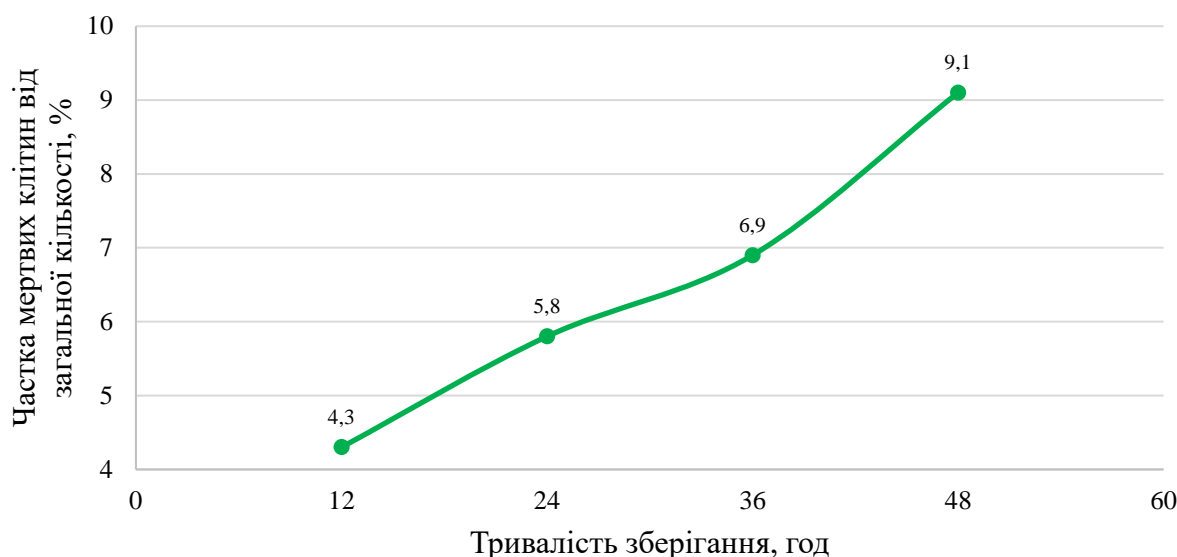


Рис. 3.12. – Вплив температури зберігання (6 °C) на фізіологічні властивості дріжджів

З рисунку 3.12 видно, що зі збільшенням терміну зберігання зростає кількість мертвих клітин, а саме на 2 добу складає 9,1 %. Проте їх концентрація відповідає значенням, яких дотримуються на пивоварних підприємствах (до 10 %).

Отже, температура зберігання впливає на фізіологічний стан дріжджів. Так, аналізуючи отримані дані, можна вважати, що найкращою температурою для зберігання є 2 °C, оскільки показник частки мертвих клітин складає 5,3 %, а при температурах 4 і 6 °C – 6,8 і 9,1 % відповідно.

### 3.4 Висновки до розділу

1. Пиво, яке зброджувалося расою H124 LDA мало кращі фізико – хімічні показники, ніж при расі H124b, зокрема видимий ступінь зброджування та вміст віцінальних дикетонів.

2. На основі даних отриманих у результаті досліджень було обрано расу дріжджів H124 LDA, яка мала вищу бродильну активність та швидкість зброджування порівняно з H124b, на суслі з вмістом сухих речовин 15, 16 і 17 %.

3. Пиво зброжене расою H124 LDA за температури 16 °C мало вищі видимий ступінь зброджування та вміст віцінальних дикетонів, ніж за температур 10, 13 і 19 °C.

4. Встановлена оптимальна температура для раси H124 LDA у суслі з вмістом сухих речовин 16 %. За температури 16 °C вдається отримати найвищу бродильну активність, а також найкращі фізіологічні та флокуляційні властивості дріжджів.

5. Експериментальним шляхом встановлена оптимальна температура зберігання раси H124 LDA IV генерації у суслі з вмістом сухих речовин 16 % протягом 48 год, що склала 2 °C. Саме така температура дозволяє найкраще зберегти фізіологічні властивості дріжджів.

## 4 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Розробка математично-статистичної моделі залежності концентрації мертвих клітин дріжджів від тривалості і температури зберігання. Параметрична схема математично-статистичної залежності зображена на рис. 4.1

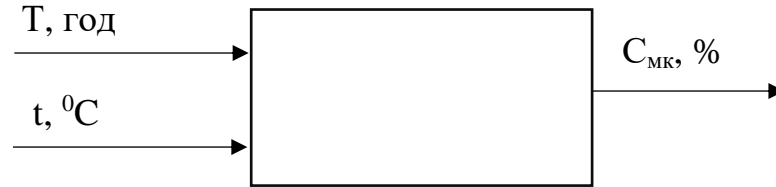


Рис. 4.1. – Параметрична схема математично-статистичної залежності

У загальному вигляді функцію можна представити так:

$$C_{\text{МК}} = f(T, t),$$

де  $C_{\text{МК}}$  – концентрація мертвих клітин дріжджів, %;

$T$  – тривалість зберігання, год;

$t$  – температура зберігання, °C.

**Складання математичної моделі.** Поліноміальна функція кодованих величин матиме вигляд:

$$y = f(x_1, x_2),$$

де  $y$  – функція відгуку, концентрація мертвих клітин дріжджів, %;

$x_1$  – тривалість зберігання, год;

$x_2$  – температура зберігання, °C.

Очікувана математична модель матиме форму поліному першої степені:

$$y_1 = b_0 + b_1 \times x_2 + b_2 \times x_2 + b_3 \times x_1 x_2,$$

де,  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти регресії.

Визначена кількість дослідів повного факторного експерименту:

$$N = 2^n = 2^2 = 4,$$

де  $n = 2$  – кількість вхідних факторів.

Спланована кількість дублюючих дослідів  $m = 2$ .

Проводимо заміну змінних  $x_i$  на закодовані значення  $z_i$ , які можуть набувати значення верхнього та нижнього рівнів варіювання факторів. За формулою:

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

де  $x_i$  – значення фактору на верхньому рівні;

$x_0$  – значення фактору на нульовому рівні;

$\Delta x_i$  – інтервал вимірювання.

Очікувана математична модель в кодованому вигляді набуває виду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \times x_2 + b_2 \times x_2 + b_3 \times x_1 x_2.$$

Визначивши, які фактори найбільше впливають на концентрацію мертвих клітин дріжджів, визначаємо їх рівні варіювання та інтервал вимірювання, які наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Фактор	Нульовий рівень	Інтервал вимірювання	Верхній рівень	Нижній рівень
x <sub>1</sub>	30	18	48	12
x <sub>2</sub>	4	2	6	2

За відповідними правилами складаємо план експерименту та матрицю плану, яка наведена у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – План експерименту і матриця плану

№ досл.	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	$\bar{y}$	S <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	+	+	+	+	3,8	4,27	4,035	0,0643
2	+	+	-	-	4,2	4,53	4,365	0,0545
3	+	-	+	-	4,7	5,14	4,92	0,0968
4	+	-	-	+	5,3	5,55	5,425	0,0313

$$\sum_{u=1}^N S_u^2 = 1,05$$

Статистична обробка даних. Розраховуємо коефіцієнти рівняння регресії за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N z_{0n} \times \bar{y}_n = \frac{1}{4} (4,035 + 4,365 + 4,92 + 5,425) = 4,68;$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N z_{1n} \times \bar{y}_n = \frac{1}{4} (4,035 + 4,365 - 4,92 - 5,425) = -0,486;$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N z_{2n} \times \bar{y}_n = \frac{1}{4} (4,035 - 4,365 + 4,92 - 5,425) = -0,209;$$

$$b_3 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N z_{3n} \times \bar{y}_n = \frac{1}{4} (4,035 - 4,365 - 4,92 + 5,425) = 0,044.$$

Перевірка однорідності дисперсій. Дисперсію дубльованих дослідів кожного рядка плану матриці розраховуємо за рівнянням:

$$S_n^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{nk} - \bar{y}_n)^2$$

де  $m = 2$  – кількість паралельних дослідів.

$$S_1^2 = [(3,8 - 4,035)^2 + (4,27 - 4,035)^2] = 0,0643;$$

$$S_2^2 = [(4,2 - 4,365)^2 + (4,53 - 4,365)^2] = 0,0545;$$

$$S_3^2 = [(4,7 - 4,92)^2 + (5,14 - 4,92)^2] = 0,0968;$$

$$S_4^2 = [(5,3 - 5,425)^2 + (5,55 - 5,425)^2] = 0,0313.$$

Найбільше значення  $S_{n \max}^2 = S_3^2 = 0,0968$ .

Сума дисперсії дорівнює:

$$\sum_{n=1}^N S_n^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 = 0,0643 + 0,0545 + 0,0968 + 0,0313 = 0,247$$

Проводимо розрахунок критерію Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{n \max}^2}{\sum_{n=1}^N S_n^2} = \frac{0,0968}{0,247} = 0,39.$$

Обираємо табличне значення критерію Кохрена  $G_{кр}$  для значення ступенів свободи, для значень ступеня свободи  $f_1 = m-1 = 2-1 = 1$  та  $f_2 = N = 4$ , для рівня значущості  $\alpha = 5\%$  та перевіряємо виконання умови:

$$G_{\max} = 0,39 < G_{кр} = 0,9065.$$

Отже, дисперсія вихідного параметру в дубльованих дослідах - однорідна, отримане рівняння регресії є відтворюваним.

Загальна похибка дослідів становить:

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n^2 = \frac{0,247}{4} = 0,0618.$$

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії. Визначення дисперсії коефіцієнтів регресії:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_0^2}{N} = \frac{1}{4} \times 0,0618 = 0,0155.$$

Розрахунок відхилення будь-якого коефіцієнту:

$$\Delta b_i \pm t_T \times \sqrt{S_0^2} = 2,78 \times \sqrt{0,0825} = 0,69,$$

де  $t_T = 2,78$  - табличне значення критерію Стьюдента для ступеню свободи  $f_1 = N(m-1) = 4(2-1) = 4$  та рівня значущості  $\alpha = 0,05$  (5%).

Значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнту регресії:

$$t_{b0} = \frac{|b_0|}{S_{bi}^2} = \frac{|4,68|}{0,0155} = 301,94;$$

$$t_{b1} = \frac{|b_1|}{S_{bi}^2} = \frac{|-0,486|}{0,0155} = 31,5;$$

$$t_{b2} = \frac{|b_2|}{S_{bi}^2} = \frac{|-0,209|}{0,0155} = 13,48;$$

$$t_{b3} = \frac{|b_3|}{S_{bi}^2} = \frac{|0,044|}{0,0155} = 2,84.$$

Рівняння регресії в остаточному вигляді у формі поліному першого порядку має вигляд:

$$\hat{y} = 4,68 + (-0,486) \times x_1 + (-0,209) \times x_2 + 0,044 \times x_1 x_2;$$

$$\hat{y}_1 = 4,68 + (-0,486) + (-0,209) + 0,044 = 4,029;$$

$$\hat{y}_2 = 4,68 + (-0,486) - (-0,209) - 0,044 = 4,359;$$

$$\hat{y}_3 = 4,68 - (-0,486) + (-0,209) - 0,044 = 4,919;$$

$$\hat{y}_4 = 4,68 - (-0,486) - (-0,209) + 0,044 = 5,419.$$

Перевіряємо отримані рівняння регресій на адекватність:

а) розраховуємо залишкову дисперсію:

$$S_{\text{зал}}^2 = \frac{m}{f_1} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2,$$

де  $f_1$  – число ступенів свободи:

$$f_1 = (N \times m - (n + 1)) = 4 \times 2 - (2 + 1) = 5;$$

$\bar{y}_u$  – середнє дослідне значення вихідного параметру в кожному досліді;

$\hat{y}_u$  – розраховане за рівнянням регресії значення вихідного параметру.

$$\begin{aligned} s_{\text{зал}}^2 &= \frac{2}{5} \times [(4,035 - 4,029)^2 + (4,365 - 4,359)^2 + (4,92 - 4,913)^2 + (5,425 - 5,419)^2] = \\ &= 0,4 \times (0,000036 + 0,000036 + 0,000049 + 0,000036) = 0,0000628; \end{aligned}$$

б) розраховуємо значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_0^2} = \frac{0,0000628}{0,0618} = 0,001016;$$

в) вибираємо табличне значення критерію Фішера за таблицями для ступеня свободи  $f_1 = (N \times m - (n + 1)) = 4 \times 2 - (2 + 1) = 5$  для знаменника, та для рівня значущості  $\alpha = 5\%$ ;  $F_T = 5,19$ ;

г) перевіряємо умови адекватності:

$$F_p = 0,001016 < F_T = 5,19;$$

Отже, можна зробити висновок, що отримані рівняння відповідні досліджуваному процесу.

Переведення кодованих величин на натуральні за формулами:

$$z_1 = \frac{T - 30}{18};$$

$$z_2 = \frac{t - 4}{2};$$

$$y = C_{MK}.$$

Звідси, математична модель має вигляд:

$$C_{MK} = 4,68 + (-0,486) \times \left(\frac{T - 30}{18}\right) + (-0,209) \times \left(\frac{t - 4}{2}\right) + 0,044 \times \left(\frac{T - 30}{18}\right) \times \left(\frac{t - 4}{2}\right);$$

$$C_{MK_1} = 4,68 - 0,486 \times \left(\frac{48 - 30}{18}\right) - 0,209 \times \left(\frac{6 - 4}{2}\right) + 0,044 \times \left(\frac{48 - 30}{18}\right) \times \left(\frac{6 - 4}{2}\right) = 4,029;$$

$$C_{MK_2} = 4,68 - 0,486 \times \left(\frac{12 - 30}{18}\right) - 0,209 \times \left(\frac{2 - 4}{2}\right) + 0,044 \times \left(\frac{12 - 30}{18}\right) \times \left(\frac{2 - 4}{2}\right) = 4,029.$$

Похибки окремо взятих дослідів становлять:

$$\Delta_1 = \left[ \frac{(4,029 - 4,029)}{4,029} \right] \times 100\% = 0\%;$$

$$\Delta_2 = \left[ \frac{(4,029 - 4,359)}{4,359} \right] \times 100\% = 7,6\%.$$

Загальна похибка експерименту становить  $\Delta = 3,8\%$ .

Запишемо натуральні значення факторів до нашого рівняння:

$$C_{MK} = 4,68 + (-0,486) \times \left(\frac{T - 30}{18}\right) + (-0,209) \times \left(\frac{t - 4}{2}\right) + 0,044 \times \left(\frac{T - 30}{18}\right) \times \left(\frac{t - 4}{2}\right);$$

За допомогою нескладних математичних операцій спростимо наше рівняння до такого вигляду:

$$\begin{aligned} C_{MK} &= 4,68 - 0,027T + 0,81 - 0,1045t + 0,418 + 0,0012 \times (Tt - 4T - 30t + 120) = \\ &= 4,68 - 0,027T + 0,81 - 0,1045t + 0,418 + 0,0012Tt - 0,0048T - 0,036t + 0,144 = \\ &= 6,052 - 0,0318T + 0,1405t - 0,0012Tt. \end{aligned}$$

**Рівняння регресії:**

$$C_{MK} = 6,052 - 0,0318T + 0,1405t - 0,0012Tt.$$

**Висновок.** За результатами статистичної обробки даних одержано рівняння регресії, яке є адекватним досліджуваному процесу. Отримана математична модель дає змогу розрахувати концентрацію мертвих клітин дріжджів із похибкою  $\Delta = 3,8\%$  в діапазоні тривалості зберігання пивних дріжджів від 12 до 48 год та температури зберігання від 2 до 6 °С.

За методом повного факторного експерименту  $2^2$  складений план з відповідними матрицями планування експерименту, вказанням кількості дослідів та межі зміни факторів.

Було розраховано критерії Кохрена, значущість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стюдента та Фішера, а також встановлена адекватність та відповідність отриманого рівняння.

## 5 СОЦІАЛЬНО - ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

Метою даної кваліфікаційної роботи було дослідження впливу температури приготування і зберігання пивних дріжджів на їх бродильну активність.

За результатами дослідження обґрунтовано, що застосування температури 16 °С є найкращим варіантом для зброджування високогустинного суслу з вмістом сухих речовин 16 %, оскільки спостерігається найбільша бродильна активність без впливу на смакові якості пива.

Соціально-економічний ефект від впровадження результатів кваліфікаційної роботи є досить значним. У результаті саме такої температури відбувається економія енергетичних та матеріальних ресурсів.

У табл. 5.1 наведена розрахункова вартість приготування 1 дал пива.

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	
				з використанням Н124b	з використанням Н124 LDA
Солод	кг	2,0	28	56,0	56,0
Хміль	кг	0,004	800	3,2	3,2
Дріжджі Н124b	кг	0,025	1800	45,0	-
Дріжджі Н124 LDA	кг	0,025	1200	-	30,0
Вода	м <sup>3</sup>	0,015	100	1,5	1,5
Вартість приготування 1 дал пива				105,7	90,7

Вартість 1 дал пива приготовленого з дріжджами Н124 LDA склала 90,7 грн/дал, що на 15 грн/дал вище вартості пива приготовленого з дріжджами Н124b. Таке несуттєве підвищення вартості, пов'язано з тим, що 1 кг дріжджів Н124b коштує 1800 грн. Як було визначено у кваліфікаційній роботі його оптимальна норма задачі складає 25 г/дал, тобто у перерахунку на грошову одиницю – 45,0 грн/дал. У кінцевому етапі ми отримуємо пиво з високими органолептичними показниками.

Враховуючи зниження ціни пива з внесенням дріжджів Н124 LDA, одержуємо і зниження його собівартості. Оскільки дріжджі раси Н124 LDA можна використовувати до 13 генерацій, на відміну від раси Н124b (максимум 8 генерацій), то отримуємо значний відсоток економії енергетичних та матеріальних ресурсів на етапах бродіння та доброджування пива.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці в лабораторії. При виконанні робіт в лабораторії на працівник може зазнати впливу небезпечних факторів:

- фізичних (підвищений шум, електромагнітне та ультрафіолетове випромінювання, недостатня освітленість, відхилення температури і вологості робочої зони від встановлених норм, підвищений вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони, електричний струм);

- біологічних;

- хімічних (реактиви, дезінфікуючі засоби, подразнюючі, мутагенні, алергенні, канцерогенні засоби);

- механічних;

- людських;

- пожежонебезпечних.

На підприємстві та безпосередньо в лабораторії керування охороною праці це обов'язки роботодавця (керівника підприємства), спеціалістів з питань охорони праці та керівників, завдання служби охорони праці регулюються Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів України «Про працю», Типовим положенням про службу охорони праці, затвердженим наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 3 серпня 1993 р. № 73 та «Положенням про службу охорони праці в системі Міністерства сільського господарства і продовольства України»

Спеціаліст з охорони праці за своєю посадою прирівнюється до спеціалістів основних виробничо – технічних служб. Він має відповідати кваліфікаційним вимогам, зазначених у «Довіднику кваліфікаційних характеристик професій працівників», який був затверджений наказом Міністерства праці та соціальної політики від 16 лютого 1998 року № 24 [37].

Навчання та перевірка знань з питань охорони праці у працівника служби охорони праці, проводяться в установленому порядку під час прийняття на роботу та один раз на три роки.

Працівник служби охорони праці підприємства у своїй роботі, керується законодавством України, нормативно – правовими актами, колективним договором та актами з охорони праці, що діють в межах підприємства.

Служба охорони праці на підприємстві здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками правил ведення технологічних процесів, правил поведіння з машинами, механізмами та устаткуванням, виконанням різного роду робіт у відповідності до вимог щодо охорони праці [37].

В лабораторіях та робочих місцях завжди знаходяться «Інструкції з техніки безпеки». При виконанні експериментів використовують різні реактиви, серед яких є токсичні, вогне - та вибухонебезпечні.

Працівники лабораторії допускаються до роботи тільки після ознайомлення з правилами техніки безпеки. Їх проводить завідуючий лабораторією. Через кожні три місяці проводиться повторний інструктаж, що фіксується у спеціальному журналі.

В хімічній лабораторії дозволяється працювати тільки при робочій приточно-витяжній вентиляції, обладнаних витяжних шаф, спецодягу, засобів індивідуального захисту, засобів пожежогасіння і аптечки для надання першої допомоги.

По закінченню роботи необхідно привести в належний стан своє робоче місце, помити посуд, поставити на місце хімічні реактиви, виключити електроприлади, газ, воду та освітлення.

При роботі з скляним хімічним посудом і скляними приладами необхідно дотримуватися правил безпеки. Слід пам'ятати, що хімічний посуд крихкий і тонкостінний, а через це його можна розбити і травмуватися. Скляний посуд і прилади треба тримати обережно, не сильно стискувати його пальцями [1].

Для попередження травматичних ситуацій при роботі з скляним посудом необхідно дотримуватись таких застережних заходів:

- відразу прибирати зі столу склобій і відходи теплової обробки скла;
- при збиранні скляних частин приладів строго дотримуватися діючих правил, які приведені у відповідних інструкціях;
- оплавляти кінці скляних трубок;
- захищати руки рушником при розрізі скляних трубок і паличок;
- при митті посуду йоржами або скляною паличкою необхідно бути обережним, адже можна ними легко пробити дно або стінки.

Для запобігання нещасних випадків при роботі з хімічними реактивами необхідно керуватися такими правилами [1]:

- токсичні рідини забороняється набирати в піпетку ротом. В цьому випадку треба використовувати гумову грушу;
- заборонено приливати концентровані кислоти до концентрованих лугів (або навпаки); їх треба розводити водою до проведення нейтралізації;
- при розведенні розчинів гідроксидів лужних металів треба приливати їх тонким струменем в холодну воду при одночасному перемішуванні;
- для приготування розчинів лугу необхідно його попередньо дрібно роздробити, щоб не розбити посуд великими кусками. Дробити луг треба на чистому металевому листі в захисних окулярах, щільно застебнутому халаті і в гумових рукавичках. Кусочки лугу беруть порцеляновим або металевим шпателем;
- процеси, пов'язані з виділенням отруйливих газів, пари та диму, роблять у витяжній шафі;
- перед нагріванням води в промивалці з останньої виймають пробку;
- нагрівання пробірок та іншого скляного посуду треба проводити поступово, направляючи їх отворами від працюючого;
- не можна змішувати розчини, що киплять або додавати до них сухі реагенти на нагрівальних приладах;
- використані реактиви, які містять в собі токсичні елементи, виливають в раковину витяжної шафи.

Зберігання легкозаймистих рідин в загальній кімнаті не допускається. Для їх зберігання повинні бути виділені спеціальні приміщення обладнані витяжними шафами.

Дозволено зберігати легкозаймисті речовини в лабораторному приміщенні тільки в об'ємі, який не перевищує добовий запас, в товстостінних склянках (з товщиною стінок не менше 2 мм) з притертими пробками, які розміщують в спеціальних шафах, дно і стінки яких вимощені азбестом.

Перегонку та нагрівання вогнебезпечних речовин, проводять в круглодонних колбах з тугоплавкого скла і на водяних банях [1].

Посуд, в якому зберігались або проводились роботи з горючими рідинами, необхідно одразу ж помити.

Переливати кислоти та луги з великої ємності у малу дозволяється тільки за допомогою сифону або ручного насосу.

Леткі речовини, які застосовуються в лабораторіях (спирт, етиловий ефір та інші), є горючими і являють собою велику небезпеку. Пари деяких з них легко займаються, при відповідній концентрації їх в повітрі може утворитися вибухова суміш. Через це при нагріванні або кип'ятінні летких розчинників не можна користуватись нагрівальними приладами з відкритим полум'ям.

Всі роботи, що пов'язані з застосуванням вогне- і вибухонебезпечних речовин, проводять у витяжній шафі [1]

Не можна користуватись водою для гасіння летких розчинників, які загорілись, тому що можна викликати ще більше розповсюдження пожежі.

Вогнище пожежі, що утворилося, ліквідують накривтям поверхні вогню щільною тканиною або засипають його піском. Якщо вогонь розповсюдився на велику площу, то треба користуватись вогнегасником (пінним або порошковим), збиваючи полум'я з боку не пошкодженої ним ділянки.

Вогнебезпечні рідини треба зберігати в ізольованому відсіку шафи, який відділений від джерела вогню дверима, що щільно закриваються. Зсередини шафа повинна бути покрита азбестом і оббита покривним металом.

Забороняється залишати без нагляду газові пальники і електронагрівальні прилади. При пожежі необхідно виключити світло у електрощиту, перекрити газовий кран, полум'я засипати піском.

В кожній лабораторії повинні бути засоби гасіння пожежі (вогнегасник, ящик з піском (з лопатою та совком)).

При займанні одягу необхідно накрити потерпілого товстою тканиною або облили водою.

При розливанні вогнебезпечних рідин, необхідно виключити всі пальники і електронагрівальні прилади, а потім прибрати рідину.

При виявленні запаху газу заборонено запалювати вогонь і користуватись електронагрівальними приладами.

При опіках парою, гарячими предметами або відкритим полум'ям пошкоджену ділянку змазують етиловим спиртом або 3 – 10 % розчином перманганату калію та накладають стерильну пов'язку [1].

При потраплянні гарячої олії на шкіру, уражену ділянку обробляють бензином і змазують маззю від опіків.

При опіках бромом, шкіру промивають водою і змащують вазеліном.

При потраплянні на шкіру кислот, вражене місце промивають водою і 3% розчином гідрокарбонату натрію  $\text{NaHCO}_3$ , а при попаданні лугу – водою та 1 – 5 % розчином оцтової кислоти.

При потраплянні хімічних речовин в очі їх необхідно промити водою і 3 % розчином гідрокарбонату натрію (при потраплянні кислоти), або насиченим розчином борної кислоти (при потраплянні лугу).

При опіках ротової порожнини кислотою застосовують полоскання 5% розчином гідрокарбонату натрію, при опіках лугом – 2% розчином соляної кислоти або 3 – 6% розчином оцтової кислоти.

У разі порізу склом необхідно переконатися у відсутності залишків скла в рані, а потім змазати йодом. Необхідно промити рану водою, присипати стрептоцидом і перев'язати. При сильній кровотечі рану обробляють 3 % розчином перекису водню і перев'язують.

Згідно санітарних норм для кожного робочого місця нормуються: повітря робочої зони (мікроклімат, загазованість, запиленість); шум; вібрація; освітленість; випромінювання (іонізуюче, радіаційне, лазерне, магнітне, ультразвукове); забезпечення санітарно – побутовими приміщеннями [1].

Закон України «Про охорону праці» було прийнято 21 листопада 2002 року. Він визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на безпечні та здорові умови праці. За участі відповідних органів влади, регулює відносини між роботодавцем та працівником з питань безпеки та гігієни праці і виробничого середовища .

Мікроклімат. Мікрокліматом називають стан повітря у виробничому приміщенні. Він визначається такими параметрами: температурою повітря в приміщенні, °С; відносною вологістю повітря, %; рухливістю повітря, м/с; тепловим випромінюванням, Вт/м<sup>2</sup>.

Кожен з цих параметрів поодиночі, а також у комплексі впливають на фізіологію організму – його терморегуляцію і визначають самопочуття.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик приміщення, категорії робіт за важкістю і порою року.

Тривалий тепловий вплив також належить до несприятливих метеорологічних умов, які негативно впливають на організм людини, призводить до порушення терморегуляції, як наслідок відбувається погіршення самопочуття, зниження продуктивності праці. Температура поверхні обладнання не має буди більше 45°C, а в приміщеннях з тепло- і вибухонебезпечним середовищем 35°C.

Мікроклімат нормується допустимими нормами, оскільки у відділенні спостерігається значне тепловиділення від варильних та сусловарильних апаратів, у яких температура складає 97-103°C. Дане тепло передається від корпусу до повітря в цеху за допомогою конвекції та нагріває стіни будівлі, обладнання, шкіру людей за рахунок тепловипромінювання [21].

Для робітників встановлені норми мікрокліматичних параметрів повітря робочої зони, узгоджені Міністерством охорони здоров'я України 23.09.93 №5.05.07. – 737.

Шум. Шум – це хаотичне сполучення звуків різної частоти та інтенсивності. Основною ціллю нормування шуму на робочому місці є встановлення допустимих рівнів шуму, котрі за щоденного впливу протягом робочого дня і багатьох років не можуть викликати суттєвих захворювань організму людини та при цьому не заважають його нормальній трудовій діяльності [21].

Вібрація. Її утворюють механічні коливання від насосів та іншого обладнання. У залежності від видів вібрацій їх вплив на організм людини буде різний. За частоти 0,7 Гц тіло людини і його органи рухаються як одне ціле, не відчуваючи взаємних переміщень. Найбільш відчутна вібрація виникає у дробильному відділенні на варниці, що спричинене роботою дробарок.

Як засоби індивідуального захисту необхідно використовувати антивібраційні рукавиці, взуття.

Природне та штучне освітлення. Освітлення у виробничому приміщенні має відповідати нормам і правилам регламентованими в ДБН.В 2.5 – 28 – 2006 «Природне та штучне освітлення. Норми проектування».

За видом джерела світла освітлення може бути:

- природним (сонячним);
- штучним (лампи розжарювання або газорозрядні);
- суміщеним (коли у світлі години доби використовують обидва джерела світла одночасно).

Природне освітлення. Природне освітлення виробничих приміщень відбувається за допомогою світла сонця.

Освітленість робочих місць на підприємстві здійснюється двостороннім бічним природним світлом – у світлі години доби і штучним – у вечірні та нічні години. У виробничих відділеннях забезпечують вимоги, котрі встановлюються до раціонального освітлення: достатня освітленість робочого місця (нормована); рівномірне освітлення; відсутність тіней, особливо рухомих, на робочій поверхні; захист від сліпучої дії джерела світла; вірний вибір напрямку світла.

У варильному відділенні маємо загальну систему штучного освітлення. Розряд зорової роботи забезпечується типом люмінесцентних ламп ЛД-40 зі світловим потоком  $F = 1960$  лм, що надає мінімальну освітленість [21]:

$$E_{min} = 150 (100) \text{ лм.}$$

Пожежна безпека. При прийнятті на роботу й у процесі праці усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Виробничі приміщення забезпечені необхідною кількістю вогнегасників згідно з вимогами «Правил пожежної безпеки в Україні». Їх встановлено в легкодоступних та помітних місцях таким чином, щоб вони не заважали під час евакуації і була забезпечена можливість прочитати маркувальні написи на корпусі.

Усі працівники повинні вміти користуватися вогнегасниками. Евакуаційні виходи і проходи утримуються постійно вільними та нічим не захаращуються.

У виробничих цехах забороняється [25]:

- курити і користуватися відкритим вогнем;

- перевантажувати товарно-матеріальними цінностями відділення, зберігати продукцію навалом;

- захарашувати проходи та підступи до протипожежного інвентарю;

Електробезпека. Силове й освітлювальне електроустаткування, електропроводка та інші споживачі електроенергії виконані та використовуються відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок (ПБЕ) і Правил технічної експлуатації електроустановок (ПТЕЕ).

Електропроводка, електрообладнання, розподільні пристрої, вимірювальні прилади, рубильники та інші пускові апарати і пристрої встановлені на негорючих основах. Розподільні електрощити, електродвигуни й пускорегулюючі апарати повинні періодично оглядатися й очищатися від пилу.

Плавкі вставки запобіжників калібровані із зазначенням номінального струму вставки. Застосування саморобних некаліброваних плавких вставок забороняється. Експлуатація тимчасових електромереж не дозволяється [26].

**Висновок.** Під час виконання експериментальної частини кваліфікаційної роботи на у лабораторії було дотримано всіх вимог охорони праці та техніки безпеки.

## 7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Правовою основою цивільного захисту є Конституція України, Кодекс цивільного захисту, інші закони України, а також акти Президента України та Кабінету Міністрів України.

Завдання системи цивільного захисту полягають у є своєчасній підготовці об'єкта до захисту від можливих наслідків надзвичайних ситуацій та оперативного проведення невідкладних робіт.

Згідно з документом, для організації заходів цивільного захисту суб'єктом господарювання, який віднесений до відповідної категорії цивільного захисту, його керівником утворюється підрозділ з питань цивільного захисту. Даний підрозділ має бути самостійною структурною одиницею суб'єкта господарювання. У деяких випадках, що передбачені Кодексом цивільного захисту України, призначається уповноважена особа з питань цивільного захисту. Але підрозділ утримується за рахунок коштів суб'єкта господарювання.

Очолюється підрозділ керівником, якого призначає на посаду та звільняє з посади керівник суб'єкта господарювання відповідно до законодавства. Керівник підрозділу повинен мати повну вищу освіту та стаж роботи у сфері цивільного захисту не менше двох років.

Підрозділ з питань цивільного захисту повинен бути підпорядкований і підзвітний безпосередньо керівникові суб'єкта господарювання. По суті ж він повинен бути об'єктовим постійно діючим органом управління цивільного захисту. До його повноважень належать питання організації, здійснення та контролю заходів цивільного захисту.

Відповідальність за цивільний захист об'єкта несе керівник цього об'єкта, він є начальником цивільного захисту об'єкта і підпорядковується своєму старшому начальнику (міністерства чи відомства), а в оперативному відношенні начальнику цивільного захисту міста чи району [12].

Цивільний захист в Україні здійснюється з метою:

- реалізації державної політики, спрямованої на забезпечення безпеки та захисту населення і територій, матеріальних і культурних цінностей та довкілля від негативних наслідків надзвичайних ситуацій у мирний час та в особливий період;

- подолання наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі наслідків надзвичайних ситуацій на територіях іноземних держав відповідно до міжнародних договорів України, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою і України.

Основними завданнями цивільного захисту є:

- збирання та аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації;
- прогнозування та оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій;

- розроблення і виконання законодавчих та інших нормативно-правових актів, дотримання норм і стандартів у сфері цивільного захисту;

- створення, збереження і раціональне використання матеріальних ресурсів, необхідних для запобігання надзвичайним ситуаціям;

- оперативне оповіщення населення про виникнення або загрозу виникнення надзвичайної ситуації, своєчасне достовірне інформування про обстановку, яка складається, та заходи, що вживаються для запобігання надзвичайним ситуаціям та подолання їх наслідків;

- організація захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, надання невідкладної психологічної, медичної та іншої допомоги потерпілим;

- проведення невідкладних робіт із ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та організація життєзабезпечення постраждалого населення;

- навчання населення способам захисту в разі виникнення надзвичайних, несприятливих побутових або нестандартних ситуацій та організація тренувань;

- міжнародне співробітництво у сфері цивільного захисту .

Для ефективної реалізації завдань цивільного захисту, зменшення матеріальних втрат та недопущення шкоди об'єктам, матеріальним і культурним цінностям та довкіллю, якщо виникають надзвичайні ситуації, то центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підпорядковані їм сили і засоби, підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, добровільні рятувальні формування здійснюють [12].

Захист харчової сировини, напівфабрикатів, готової продукції, води на об'єктах харчової промисловості є одним з основних завдань цивільного захисту для переробних підприємств. Незважаючи на існуючі розбіжності між вражаючою дією радіоактивних, хімічних речовин, біологічних чинників способи захисту продуктів харчування мають багато спільного. Вибір способу захисту визначається видом продукції, її кількістю і умовами зберігання. Для підготовки підприємства до захисту від радіоактивних речовин, небезпечних хімічних речовин на кожному із них розробляється план захисту, в якому передбачається проведення організаційних та інженерно-технічних заходів.

Значна частина заходів має бути виконана під час будівництва підприємства, його реконструкції та у процесі капітального і поточного ремонтів.

Заходи щодо захисту продуктів харчування об'єднують у наступні групи: організаційні, інженерно-технічні, санітарно-профілактичні [32].

Організаційні заходи є загальними для харчових підприємств всіх галузей та включають:

- розосередження виробничих і складських споруд на території підприємства під час його будівництва;

- заміну обладнання більш досконалим, герметичним;

- підготовку до роботи лабораторій для аналізу продуктів харчування на забрудненість радіоактивними і хімічними отруйними речовинами;

- навчання формувань, виробничого персоналу заходам та засобам захисту харчових продуктів та сировини;

- контроль за всім комплексом заходів із захисту і підготовки до знезараження.

Під час загрози виникнення надзвичайної ситуації здійснюються: приведення формувань в готовність, встановлення суворого пропускового режиму на підприємстві, охорона важливих об'єктів, в тому числі систем

водопостачання, приведення до готовності пунктів санітарного оброблення, санітарних пропускників, знезаражуючих засобів та матеріалів.

Інженерно-технічні заходи складаються з:

- герметизації виробничих і складських приміщень;
- встановлення поглиначів на вентиляційних системах;
- встановлення протипилових фільтрів, кондиціонерів у виробничих приміщеннях;
- герметизації технологічного обладнання.

У способах реалізації інженерно-технічних заходів для всіх галузей важлива герметизація будівель, приміщень та інших елементів виробничого комплексу.

До санітарно-профілактичних заходів включає в себе:

- суворе дотримання правил особистої гігієни;
- регулярний санітарно-гігієнічний контроль за якістю продукції, води та водо джерел;
- утримання в чистоті будівель, допоміжних приміщень, обладнання відповідно до санітарних правил харчових підприємств
- утримання території заводу у чистоті. Під'їзні шляхи, майданчики перед виробничими та складськими приміщеннями мають бути заасфальтовані з певним ухилом для збігання промивної та атмосферної вод у бік від будівель;
- збереження відходів у бетонних або в щільно збитих просмолених ящиках з кришками, що щільно прилягають.

Сміття та відходи слід вивозити кожний день. Ящики слід ретельно вичищати та дезінфікувати 20 % розчином вапняного молока або розчином хлорного вапна [32].

Радіаційний і хімічний контроль є однією з складових частин цивільного захисту населення, виробничого персоналу підприємств. До нього входить комплекс організаційних і технічних заходів, які здійснюються для контролю виробничого персоналу підприємств, населення, а також визначення ступеня зараженості радіоактивними, небезпечними хімічними речовинами людей, технологічного обладнання, продуктів харчування, сировини, води та інших матеріальних засобів.

За даними радіаційного і хімічного контролю здійснюється:

- оцінка працездатності особового складу формувань цивільного захисту, виробничого персоналу підприємств і визначення порядку їх подальшого використання;
- первинна діагностика тяжкості гострих променевих і хімічних уражень;
- уточнення режимів радіаційного захисту людей;
- визначення необхідності і об'єму санітарної обробки людей, спеціальної обробки технологічного обладнання, техніки, інших матеріальних засобів;
- визначення можливості використання сировини, напівфабрикатів, готової продукції в умовах радіаційного і хімічного зараження.

Радіаційний і хімічний контроль організовується штабом і службами цивільного захисту підприємства і здійснюється командирами формувань і силами розвідувальних підрозділів [31].

Основним способом захисту продуктів харчування і води від зараження є їх ізоляція від зовнішнього середовища. Тому потрібна герметизація місць зберігання продовольства і використання захисної тара.

Заходи, які спрямовані на забезпечення захисту запасів сировини, напівфабрикатів та готової продукції [32]:

- будівництво складських і виробничих приміщень з повною герметизацією;
- розробка планів підготовки до здійснення простої герметизації тих складських та інших приміщень, аде немає повної герметизації;
- випуск продуктів та напівфабрикатів у герметичній тарі;
- утримання в справному стані герметизації герметизованих транспортних засобів для транспортування продуктів і товарів, для надійного захисту продуктів харчування, харчової сировини та інших продовольчих товарів і їх запасів можна використовувати гірські виробки й заглиблені порожнини. У них будують складські приміщення, які внаслідок такого розміщення простіше захистити не тільки від зараження, а й від усіх інших вражаючих факторів.

**Отже,** захист харчової сировини, напівфабрикатів, готової продукції, води на об'єктах харчової промисловості є одним з основних завдань цивільного захисту для переробних підприємств. Для цього використовують організаційні, інженерно-технічні й санітарно-профілактичні заходи. Головним способом захисту продуктів є герметизація виробничих, складських приміщень. Своєчасний контроль обстановки навколишнього середовища сприяє проведенню ефективних заходів щодо захисту харчових продуктів та сировини на харчових підприємствах.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Встановлено, що пиво зброжене расою H124 LDA має кращі фізико – хімічні показники у порівнянні з H124b, а саме вищий ступінь збродження та менший вміст віцінальних дикетонів.

2. На основі отриманих даних можна стверджувати, що раса H124 LDA має вищу бродильну активність та швидкість збродження у суслі з вмістом сухих речовин 15, 16 і 17 %.

3. Встановлено, що пиво зброжене расою H124 LDA за температури 16 °C, має вищі показники видимого ступеню збродження та вмісту віцінальних дикетонів, ніж за температур 10, 13 і 19 °C.

4. Досліджено, що оптимальною температурою для раси H124 LDA є 16 °C. За цієї температури вдається отримати найвищу бродильну активність та найкращі фізіологічні й флокуляційні властивості дріжджів.

5. У результаті експериментів встановлено оптимальну температуру зберігання раси H124 LDA IV генерації у суслі з вмістом сухих речовин 16 % протягом 48 год, яка складає 2 °C. Саме за такої температури найкраще зберігаються фізіологічні властивості дріжджів.

6. Розроблена та доведена на адекватність математично - статистична модель залежності концентрації мертвих клітин дріжджів від температури та тривалості зберігання пивних дріжджів.

7. Розрахунок собівартості 1 дал готового пива показав, що при використанні раси H124 LDA з нормою задачі 25 г/дал, ми отримуємо ціну на 15 грн нижчу, ніж за використання раси расою H124b.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абільтарова Е. Н., Корець М. С., Яшанов С. М. Основи охорони праці. Модуль 1 : Правові та організаційні питання охорони праці, основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії : навч.-метод. посібник. Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2010. 409 с.
2. Біологія клітин: лабораторний практикум для студ. напряму підготовки 6.051401 «Біотехнологія» ден. та заоч. форм навчання / уклад. В. О. Красінько, І. М. Волошина. Київ: НУХТ, 2014. 147 с.
3. Вплив концентрації дріжджових клітин на зброджування високогустинного пивного сусла / Т. В. Харандюк, Р. Б. Косів, Н. І. Березовська, Л. Я. Паляниця. Науковий вісник Львівського *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, 2016. Т. 18, № 1 (4). С. 133 – 137.
4. Вплив концентрацій сухих речовин та етанолу на бродильну активність пивних дріжджів / Т. Харандюк, Р. Косів, Л. Паляниця, Н. Березовська, Н. Паньків / *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблеми харчування людства у XXI столітті* : матеріали 81 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Київ, 2015. Ч. 1. С. 226 – 227.
5. Вплив норми внесення дріжджів на вміст ацетальдегіду та віцінальних дикетонів в молододу пиві / Полюжин Л. І. та ін. *Міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції*: матеріали міжнародної наукової конференції, 4 грудня 2020 р. Чернігів: МЦНД, 2020. Т. 3. С. 33 – 36.
6. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти : навч. Посіб. / І. П. Козлова та ін. Київ: Наукова думка, 2008. 528 с.
7. ДСТУ 3888 : 2015. Пиво. Загальні технічні умови. [Чинний від 2015 – 11 - 01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 16 с.
8. Зброджування висококонцентрованого пивного сусла дріжджами різних рас / Косів Р. Б. та ін. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 2015. Вип. 47 (2). С. 186 – 189.
9. Зниження вмісту віцінальних дикетонів при зброджуванні високогустинного сусла / Т. В. Харандюк Т. В. та ін. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, 2017. Т. 19, № 75. С. 149 – 152.
10. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: підручник / С. В. Іванов та ін. // за рег. ред. С. В. Іванова. Київ: НУХТ, 2012. 487 с.
11. Квасников Е. И., Щелкова И. Ф. Дрожжи. Биология. Пути использования. Київ : Наукова думка, 1991. 328 с.
12. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 14 травня 2013 р. № 224 – IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2021. № 34 - 35. ст. 458.
13. Кошова В. М., Коломієць Т. В., Решетняк Л. Р. Динаміка фізіологічних показників різних рас пивних дріжджів в процесі головного бродіння / *Перспективи розвитку наукових досліджень в 21 веке* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Москва, 2013. Ч. 3. С. 14 – 20.

14. Кошова В. М., Решетняк Л. Р., Куц А. М. Дослідження впливу різних рас дріжджів на зброджування пивного сусла і якість готового пива. *Наукові праці НУХТ*, 2015 р. Т. 21. № 1. С. 220 – 226.

15. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива; пер. с нем. Санкт - Петербург: Профессия, 2009. 1100 с.

16. Меледина Т. В., Давыденко С. Г., Васильева Л. М. Физиологическое состояние дрожжей: учеб. пособие. Санкт - Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. 48 с.

17. Мелетьєв А. Є., Годосійчук С. Р., Кошова В. М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв : підручник. Вінниця: Нова Книга, 2007. 392 с.

18. Методи контролю якості харчових виробництв: лабораторний практикум для студ. напряму 6.051701 «Харчові технології та інженерія» професійного спрямування «Технології харчування» ден. та заоч. форм навч. / уклад. А. В. Неміріч, О. О. Петруша, К. А. Науменко, О. М. Вашека. Київ: НУХТ, 2014. 116 с.

19. Методичні рекомендації до виконання магістерської роботи для студентів спец. 8.05170106 «Технології продуктів бродіння і виноробства» денної та заочної форм навчання / уклад. А.М. Куц, П.Л. Шиян, А. Є. Мелетьєв. Київ: НУХТ, 2015. 43 с.

20. Новое о систематике и номенклатуре грибов / под ред. Ю. Т. Дьякова, Ю. В. Сергеева. Москва: Национальная академия микологии. Медицина для всех, 2003. 494 с.

21. Охорона праці в галузі та цивільний захист : конспект лекцій для студентів 6 курсу денної форми навчання навчання галузі знань 19 – Архітектура і будівництво, спеціальності 191 – Архітектура та містобудування, освітні програми «Архітектура будівель і споруд», «Містобудування», «Дизайн архітектурного середовища» / уклад. В. Е. Абракітов. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 96 с.

22. Пирог Т. П. Загальна мікробіологія : підручник. Київ: НУХТ, 2004. 471 с.

23. Помозова, В. А. Активация пивных дрожжей / В. А. Помозова, Л. В. Пермякова, Е. А. Сафонова, В. В. Артемасов. *Пиво и напитки*. 2002. № 2. С. 26 – 27.

24. Прист Ф. Дж., Кэмпбелл Й. Микробиология пива / пер. с англ. под общ. ред. Т. В. Мелединой, Т. Сойдла. Санкт – Петербург : Профессия, 2005. 368 с.

25. Про правила пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України : Закон України від 15 серпня 2016 р. № 974. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. № 1229/29359.

26. Про правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : Закон України від 25 липня 2006 р. № 258. *Відомості Верховної Ради України*, 2017. № 132/30000.

27. Романова З. М., Прибильський В. Л., Дарменко Ю. Дослідження пивних дріжджів, які застосовують при зброджуванні у ЦКБА. *Харчова промисловість*, 2008. № 6. С. 59 – 61.

28. Современная микробиология: Прокариоты : в 2 т. Т. 2. / пер. с англ. под

ред. Й. Ленгелера, Г. Дрекса, Г. Шлегел. Москва: Мир. 2005. 496 с.

29. Сучасні способи активації процесів розмноження та ферментації пивоварних дріжджів / М. В. Карпутіна, З. М. Романова, В. М. Сидор, Д. Д. Карпутіна. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2012. Вип. 28. С. 125 – 130.

30. Шавел Я. Факторы стресса для дрожжевых клеток. *Пиво и напитки*, 2001. № 1. С. 24 – 27.

31. Цивільний захист: курс лекцій для студентів усіх спеціальностей освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» і «магістр» денної та заочної форм навчання / уклад. О. В. Хіврич, Н. В. Володченкова. Київ: НУХТ, 2015. 207 с.

32. Цивільний захист на підприємствах харчової промисловості: навч. посіб. / заБ. Д. Харулова. Київ: «Центр учбової літератури», 2015. 192 с.

33. Vafncova P., Domyeny Z. Smogrovicova., *Folia Microbiol*, 2000. № 45. P. 335 – 338.

34. Impact of Serial Repitching on Lager Brewing Yeast Quality / C. L. Jenkins et al. *Journal-American society of brewing chemists*, 2003. Vol. 61, Issue 1. P. 1 – 9.

35. Net effect of wort osmotic pressure on fermentation course, yeast vitality, beer flavor, and haze / K. Sigler, D. Matoulková, M. Dienstbier, P. Gabriel. *Microbiol Biotechnol*, 2009. Vol. 82 (6). P. 1027 – 1035.

36. The Metabolism and Molecular Physiology of *Saccharomyces cerevisiae* / edited by J. R. Dickinson, M. Schweizer. London: CRC Press, 2004. 480 p.

37. Державні санітарні правила та норми, гігієнічні нормативи. Правила влаштування і безпеки роботи в лабораторіях (відділах, відділеннях) мікробіологічного профілю : нормативний документ / Міністерства охорони здоров'я України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0001588-02#Text> (дата звернення 13.01.2021).

38. Раси дріжджів : веб – сайт. URL : <https://studfile.net/preview/7878956/page:3/> (дата звернення 13.12.2020).

39. Раси пивних дріжджів : веб – сайт. URL : [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/06\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_neorganicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_II/5418](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_II/5418) (дата звернення 13.12.2020).

40. Changes in the Yeast Metabolism at Very High-Gravity Wort Fermentation : веб – сайт. URL : <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02817557> (дата звернення 25.11.2020).

# ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

Затверджено на засіданні  
кафедри біотехнології продуктів  
бродиння і виноробства НУХТ,  
протокол № \_\_\_\_  
від « 3 » вересня 2020 р.  
Зав. кафедри \_\_\_\_\_ А. М. Куц

### РОБОЧА ПРОГРАМА

кваліфікаційної роботи на тему:

#### **«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИГОТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ НА ЇХ БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ»**

#### **ВСТУП**

#### **1 ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ НА ЇХ БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ (аналітичний огляд)**

- 1.1 Біологія дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*
- 1.2 Роль дріжджів у виробництві пива
  - 1.2.1 Пивні дріжджі та їх основні властивості
  - 1.2.2 Вплив стресів на пивні дріжджі
  - 1.2.3 Роль метаболізму пивних дріжджів в пивоварінні
  - 1.2.4 Вимоги, що пред'являються до дріжджів у пивоварінні для забезпечення високої якості продукту
- 1.3 Побічні продукти бродиння, які впливають на аромат і смак пива
  - 1.3.1 Характеристика основних побічних продуктів бродиння та їх роль у формуванні органолептичних показників пива
  - 1.3.2 Вплив деяких технологічних факторів на якісний та кількісний склад летючих речовин пива
- 1.4 Висновки, мета та завдання дослідження

#### **2 ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

- 2.1 Програма проведення аналітичних та експериментальних досліджень
- 2.2 Об'єкти досліджень
- 2.3 Методика досліджень
- 2.4 Методи досліджень

#### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА БРОДИЛЬНУ АКТИВНІСТЬ ДРІЖДЖІВ (експериментальна частина)**

- 3.1 Дослідження впливу низових рас дріжджів на фізико – хімічні показники сусла
- 3.2 Дослідження впливу температури приготування на бродильну активність сусла
- 3.3 Дослідження впливу температури зберігання на фізіологічний стан дріжджів
- 3.4 Висновки

#### **4 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

**5 СОЦІАЛЬНО – ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ**  
**6 ОХОРОНА ПРАЦІ**  
**7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**  
**ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**  
**ДОДАТКИ**

Здобувач

\_\_\_\_\_

Кірічевська Я. В.

Керівник роботи, к. т. н., доц.

\_\_\_\_\_

Бондар М. В.

## ДОДАТОК Б

**Матеріали 86** Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 2–3 квітня 2020 р. – Київ: НУХТ. – Ч.1.

### 27. Підвищення фізико-хімічної стабільності пива при використанні полівінілполіпіролідону (ПВПП)

**Яна Кірічевська, Микола Бондар**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** Пиво повинне мати високу біологічну та фізико-хімічну стійкість, щоб була можливість транспортувати його у віддалені райони й зберігати тривалий термін. Проблему біологічної стійкості практично вирішено, а от проблема підвищення колоїдної стійкості пива має широкую область для наукових досліджень.

**Матеріали і методи.** На основі аналізу літературних даних, теоретичних та експериментальних розробок авторів, було зроблено висновок, що дослідження впливу ПВПП на підвищення колоїдної стійкості пива є актуальною темою. Фізико-хімічні та органолептичні показники визначалися згідно методик для пивоварної промисловості. Зокрема для вимірювання мутності використовували непрямі методи вимірювання: турбідометрія та нефелометрія. Загальні поліфеноли і антоціаногени визначали за методиками, наведеними в аналітиці ЕВС (ЄВС 9.9.1 і 9.9.2).

**Результати.** Метою даної роботи було підібрати дозу ПВПП, яка дозволить подовжити термін зберігання та буде утворювати колоїдно стійке пиво більше 6 місяців.

Основа в колоїдних осадах, що виявляються в пиві, складають поліфеноли (ПФ), зокрема такі фракції, як антоціаногени (АЦГ) і таноїди.

Як адсорбент поліфенолів в даний час використовують ПВПП. Це органічна сполука, яка «зшита» в трьох площинах і додатково укріплено молекулярними ланцюжками. ПВПП адсорбує дубильні (фенольні) з'єднання шляхом утворення водневих зв'язків з ними. Водневий зв'язок залежить від рН - в лужних розчинах адсорбовані фенольні сполуки знову десорбуються. Завдяки цьому ПВПП можна регенерувати і багаторазово використовувати. Для проведення досліду використовували світлий сорт чистого солодового пивного суслу, у який в різних дозах вносили ПВПП (0, 20 і 40 г/гл) на стадії фільтрування пива.

Дані наведені в таблиці.

Вплив ПВПП на колоїдну стійкість пива

№ зразка пива	Доза ПВПП, г/гл	Концентрація, мг/л			Індекс полімеризації	Число циклів 600/00
		Таноїди	АЦГ	ПФ		
1	0	76,8	76	255	0,64	1
	20	11,5	38	152	0,32	6
	40	11,3	36	152	0,31	5
2	0	79,0	65	231	0,61	1
	20	11,3	22	121	0,27	8
	40	14,9	34	149	0,30	6

Як видно з таблиці, дослідження щодо впливу цього препарату на колоїдну стійкість пива показали, що для отримання напою тривалого терміну зберігання досить обробляти його ПВПП з розрахунку 20 г/гл пива.

**Висновки.** Таким чином, для підвищення колоїдної стійкості пива понад 6 міс. достатня доза стабілізатора ПВПП - 20 г/гл. Далі в магістерській роботі буде досліджено вплив дозування на інші сорти пива.