

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) біотехнології та екологічного контролю  
Кафедра біотехнології і мікробіології

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Наталія ГРЕГІРЧАК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » лютий 2026 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віктор СТАБНІКОВ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » лютий 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Біотехнології: фармацевтична,

промислова, харчова, природоохоронна»

на тему: Культивування дріжджів для виробництва житнього хліба

Виконала: здобувачка 5 курсу, групи 1

АНТОНЕНКО Олександра Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник РЕЗНІЧЕНКО Юрій Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувачка \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2026 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю

Кафедра біотехнології і мікробіології

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма « Біотехнології: фармацевтична  
промислова, харчова, природоохоронна»

(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

біотехнології і мікробіології

Віктор СТАБНИКОВ

“ 01 ” грудня 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

АНТОНЕНКО Олександра Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Культивування дріжджів для виробництва житнього хліба

керівник роботи доц.,к.т.н., РЕЗНИЧЕНКО Юрій Миколайович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 28.11.2025 року № 957-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 30.01.2026

3. Вихідні дані до роботи Цільовий продукт біосинтезу – біомаса *Candida tropicalis* H346 С. Біологічний агент - *Candida tropicalis* H346 С. Об'єм ферментера для виробництва біомаси *Candida tropicalis* H346 С – 500 л, коефіцієнт заповнення складає - 0,6.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) РОЗДІЛ 1. Характеристика заквасок для виробництва житнього хліба. РОЗДІЛ 2. Обґрунтування вибору та характеристика біологічного агента РОЗДІЛ 3. Техніко-економічне обґрунтування. РОЗДІЛ 4. Обґрунтування вибору технологічної схеми РОЗДІЛ 5. Специфікація обладнання. РОЗДІЛ 6. Опис технологічної схеми РОЗДІЛ 7. Основні етапи виділення та очищення целюлази. РОЗДІЛ 8. Контроль виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу

Технологічна схема біосинтезу на 1 аркуші формату А1

Апаратурна схема біосинтезу на 1 аркуші формату А1

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	РОЗДІЛ 1. Характеристика заквасок для виробництва житнього хліба	01.–04.12.2025	
2	РОЗДІЛ 2. Обґрунтування вибору та характеристика біологічного агента	06.–11.12.2025	
3	РОЗДІЛ 3. Техніко-економічне обґрунтування	12.–15.12.2025	
4	РОЗДІЛ 4. Обґрунтування вибору технологічної схеми	16.–18.12.2025	
5	РОЗДІЛ 5. Специфікація обладнання	20.–22.12.2025	
6	РОЗДІЛ 6. Опис технологічної схеми	25.–28.12.2025	
7	РОЗДІЛ 7. Основні етапи виділення та очищення целюлази	28.–30.12.2025	
8	РОЗДІЛ 8. Контроль виробництва	01.–03.01.2026	
9	Вступ, реферат, список використаної літератури	04.–06.01.2026	
10	Оформлення списку літературних джерел	07.-09.01.2026	
11	Оформлення вступу та реферату	10.–12.01.2026	
12	Оформлення презентації	13.–15.01.2026	
13	Оформлення пояснювальної записки	16.–20.01.2026	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександра АНТОНЕНКО \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Юрій РЕЗНІЧЕНКО \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена обґрунтуванню біотехнологічних основ одержання пресованих дріжджів на основі неklasичних дріжджових культур для використання у виробництві житнього хліба, з урахуванням потреб крафтового та малотоннажного хлібопекарського виробництва. Актуальність теми зумовлена зростанням інтересу до ремісничого хліба, розширенням асортименту заквасок і стартових культур, а також необхідністю диверсифікації біологічних агентів, що застосовуються у хлібопеченні, з метою покращення харчової цінності, смакових властивостей та стабільності готової продукції.

У роботі розглянуто сучасний стан хлібопекарської галузі з акцентом на виробництво житнього хліба та його функціональні переваги. Проаналізовано біологічні особливості неklasичних дріжджів, зокрема *Candida tropicalis*, як перспективного продуцента біомаси для хлібопекарських цілей. Наведено таксономічну характеристику, морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки обраного біологічного агента.

Обґрунтовано вибір поживного середовища на основі меляси цукрової тростини та дріжджового екстракту, а також параметри культивування у ферментері об'ємом 500 л. Проведено техніко-економічне обґрунтування виробництва, включно з аналізом вартості поживного середовища, продуктивності біосинтезу та умовної собівартості одиниці біомаси. Окрему увагу приділено вибору технологічної схеми, підготовці аераційного повітря, контролю піноутворення та доцільності застосування піногасників.

Робота складається зі вступу, 8 розділів та списку використаної літератури (22 літератури та патентів та 47 електронних джерел в тексті). Наведено 16 рисунків та 12 таблиць. Графічну частину представлено технологічною та апаратною схемами формату А1 по 1 листу кожного.

**Ключові слова:** неklasичні дріжджі, *Candida tropicalis*, житній хліб, пресовані дріжджі, крафтове хлібопечення, біотехнологія, меляса, ферментер.

## ABSTRACT

The qualification thesis is devoted to the substantiation of the biotechnological principles for the production of compressed yeast based on non-conventional yeast cultures intended for use in rye bread manufacturing, taking into account the needs of craft and small-scale bakery production. The relevance of the topic is determined by the growing interest in artisanal bread, the expansion of sourdough and starter culture assortments, as well as the need to diversify biological agents used in baking in order to improve nutritional value, sensory properties, and stability of the final product.

The thesis examines the current state of the bakery industry with an emphasis on rye bread production and its functional advantages. The biological characteristics of non-conventional yeasts, in particular *Candida tropicalis*, are analyzed as a promising biomass producer for baking applications. The taxonomic position, morphological and cultural characteristics, as well as physiological and biochemical properties of the selected biological agent are presented.

The choice of a nutrient medium based on sugarcane molasses and yeast extract is substantiated, along with the cultivation parameters in a 500-L fermenter. A techno-economic assessment of the production process is carried out, including an analysis of the nutrient medium cost, biosynthesis productivity, and the conditional cost per unit of biomass. Special attention is paid to the selection of the technological scheme, preparation of aeration air, foam formation control, and the feasibility of using antifoaming agents.

The thesis consists of an introduction, eight chapters, and a list of references (22 literature sources and patents and 47 electronic sources cited in the text). The work includes 16 figures and 12 tables. The graphical part is represented by technological and equipment flow diagrams in A1 format, one sheet each.

**Keywords:** non-conventional yeasts, *Candida tropicalis*, rye bread, compressed yeast, craft baking, biotechnology, molasses, fermenter.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАКВАСОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЖИТНЬОГО ХЛІБА.....	9
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА.....	14
2.1. Обґрунтування вибору біологічного агента та поживного середовища для його культивування.....	14
2.2. Розрахунок складу поживного середовища.....	19
2.3. Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки біологічного агента.....	20
2.4. Таксономічний статус біологічного агента.....	23
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	25
3.1. Потреба у житньому хлібі.....	25
3.2. Розрахунок потужності виробництва.....	27
3.3. Розрахунок об'єму ферментера та кількості виробничих циклів...28	
3.4. Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу.....	29
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ.....	31
4.1. Обґрунтування способу культивування і типу ферментера.....	31
4.2. Обґрунтування стадії підготовки аераційного повітря.....	35
4.3. Обґрунтування способу підготовки та стерилізації поживного середовища.....	37
4.3.1 Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для одержання інокуляту в колбах на качалках .....	37
4.3.2. Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для виращування інокуляту в посівних апаратах.....	38
4.3.3. Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для виробничого біосинтезу.....	39
РОЗДІЛ 5. СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ.....	42
РОЗДІЛ 6. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ.....	44

РОЗДІЛ 7. ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИДІЛЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ДРІЖДЖІВ.....	50
РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА.....	53
8.1. Мікробіологічний контроль.....	53
8.2. Показники росту і синтезу цільового продукту.....	55
8.2.1. Концентрація біомаси.....	55
8.2.2. Концентрація життєздатних клітин .....	56
8.2.3. Концентрація джерела вуглецю (меяси).....	58
8.2.4. Концентрація джерела азоту (дріжджового екстракту).....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61

## ВСТУП

У сучасних умовах харчової промисловості хліб та хлібобулочні вироби зберігають ключове значення як один із базових продуктів харчування, що забезпечує населення енергією, білками, вітамінами і харчовими волокнами. За даними Державної служби статистики України, у структурі виробництва хліба житній та житньо-пшеничний хліб становили значну частку загального обсягу випікання вітчизняної продукції, хоча їх виробництво має тенденцію до зменшення протягом останніх років. Так, у 2021 році обсяг житнього хліба складав кілька тисяч тонн на загальному тлі хлібопечіння, але з часом частка цих традиційних сортів значно скоротилась, тоді як домінує пшеничний хліб і вироби з домішками житнього борошна ([https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/12/zb\\_prom\\_16\\_20.pdf](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/12/zb_prom_16_20.pdf)).

У глобальному масштабі ринок хліба є багатомільярдним і включає різноманітні категорії продуктів, серед яких помітне зростання сегмента традиційних і ферментованих хлібів. Загальний світовий ринок хліба оцінюється у сотні мільярдів доларів із прогнозованим зростанням до 2030 року, що зумовлено змінами у споживчих звичках, підвищеною увагою до здорового харчування та популярністю продуктів із мінімальною обробкою. Значний сегмент цього ринку становить сурдоу (sourdough) — хліб, отриманий шляхом природного бродіння з використанням заквасок, і він демонструє суттєве розширення, оцінюване в кілька мільярдів доларів і зі стійким прогнозом росту на горизонті 2024–2034 років (<https://www.kenresearch.com/global-bread-market>, <https://www.fortunebusinessinsights.com/sourdough-market-103845>).

Особливим трендом останнього десятиліття є розвиток крафтового (artisan) виробництва хліба, що характеризується використанням традиційних технологій, мінімально оброблених інгредієнтів і складних мікробіологічних систем, у тому числі природних заквасок. Такий хліб, на відміну від масового

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВСТУП</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Антоненко О.С.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Резніченко Ю.М</i>					7	64
<i>Реценз.</i>						<i>Кафедра БТМ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Стабніков В.П.</i>						

промислового продукту, виготовляється на локальних виробництвах і часто має більш високу харчову та органолептичну цінність завдяки участі різноманітної мікрофлори та сповільненому процесу ферментації (<https://www.industryresearch.biz/market-reports/artisanal-bakery-products-market-109652>).

У крафтовому й традиційному хлібопеченні важливу роль відіграють не лише класичні дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, а й некласичні дріжджові види, що входять до складу заквасок і природних мікробних спільнот. Наукові дослідження підкреслюють, що мікроекосистема заквасок включає різноманітних дріжджів (наприклад *Candida humilis*, *Kazachstania exigua*) та молочнокислі бактерії у симбіозі з ними, що визначає органолептичні та функціональні властивості кінцевого продукту. Недостатньо вивчені й потенційно перспективні некласичні штами дріжджів викликають зростаючий інтерес у дослідників і практиків, оскільки вони можуть забезпечувати специфічні аромати, кислотність, текстуру та інші важливі технологічні параметри хліба, які неможливо досягти за допомогою монокультур *S. cerevisiae* (Decock, & Cappelle, 2005).

Успішне поєднання традиційних мікробіологічних знань і сучасних технологій культивування дріжджів є важливим чинником підвищення якості, відтворюваності та різноманітності хлібних продуктів. Саме це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на оптимізацію процесів культивування некласичних дріжджів та інтеграцію їх у закваски для житнього хліба, з огляду на сучасні споживчі та ринкові тенденції.

Новизною роботи є застосування некласичних дріжджів *Candida tropicalis* H346 C для одержання житнього хліба, які використовують середовище з м'ясою та синтезують 9,4 г/л біомаси (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024).

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАКВАСОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЖИТНЬОГО ХЛІБА

Житній хліб належить до групи ферментованих хлібобулочних виробів, технологія яких ґрунтується на використанні біологічних заквасок, що забезпечують перебіг складних мікробіологічних і біохімічних процесів у тісті. Специфіка житнього борошна, зумовлена його хімічним складом, визначає необхідність застосування заквасок як обов'язкового технологічного елементу. На відміну від пшеничного борошна, житнє містить обмежену кількість клейковиноутворювальних білків та підвищений вміст водорозчинних полісахаридів, зокрема арабіноксиланів, що обумовлює інші реологічні властивості тіста та підвищену чутливість до дії амілолітичних ферментів (Кож, & Pejcz, 2023; Klupsaite et al., 2023).



Рис. 1.1. Житній хліб (<https://retsepty.co.ua/recipe/zhytniy-khlib/>)

У зв'язку з цим формування структури житнього тіста відбувається не за рахунок розвитку клейковинного каркасу, а переважно внаслідок кислотного гелеутворення пентозанів. Таке гелеутворення можливе лише за умови

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ док.ум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Антоненко О.С.				РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАКВАСОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЖИТНЬОГО ХЛІБА	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Резніченко Ю.М.						9	64
Реценз.						<i>Кафедра БТМ</i>		
Н. Контр.								
Затверд.	Стабніков В.П.							

накопичення органічних кислот у процесі ферментації, що досягається при використанні заквасок, які містять асоціації дріжджів і молочнокислих бактерій. Саме ці мікроорганізми забезпечують необхідний рівень кислотності, газоутворення та формування характерних органолептичних властивостей житнього хліба (Koj, & Pejcz, 2023; Klupsaite et al., 2023).

Таблиця 1.1.

**Органолептичні та інші показники якості житнього хліба (за ДСТУ 4583:2006) ([https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=71237](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71237))**

Показник	Норма / характеристика
<b>Зовнішній вигляд</b>	Відповідає виду виробу, без значних дефектів, відповідає формі, в якій випікався хліб; допустимі незначні тріщини чи підриви поверхні
<b>Форма</b>	Відповідає формі, у якій випікали (подова або формова)
<b>Поверхня скоринки</b>	Повинна бути рівномірно підрум'янена, без забруднень і великих тріщин; для нарізаного — допускаються сліди розрізів
<b>Колір скоринки</b>	Темно-коричневий (характерно для житнього хліба)
<b>Стан м'якушки</b>	Добре пропечена, еластична, без сирих ділянок чи ущільнень
<b>Смак і запах</b>	Специфічний для житнього хліба, без сторонніх присмаків і запахів
<b>Вологість м'якушки %</b>	46–51%
<b>Кислотність м'якушки (град)</b>	7–12 °
<b>Пористість м'якушки %</b>	45–57%

Дріжджі, що використовуються у складі заквасок для виробництва житнього хліба, відіграють важливу роль у процесах спиртового бродіння. Основним промисловим видом є *Saccharomyces cerevisiae*, який широко застосовується у хлібопекарській галузі завдяки високій бродильній активності та здатності ефективно утворювати діоксид вуглецю. Водночас для житніх заквасок характерним є також використання кислотостійких дріжджів, зокрема

представників родів *Candida* та *Kazachstania* (раніше *Saccharomyces exiguus*), які краще адаптовані до середовища з пониженим значенням рН та підвищеною концентрацією органічних кислот. Такі дріжджі забезпечують стабільне газоутворення навіть за умов високої кислотності, характерної для житнього тіста (Mititiuc, Dabija, & Avramia, 2025).

У традиційних і спонтанних заквасках дріжджова мікрофлора формується природним шляхом і представлена комплексом диких штамів, адаптованих до конкретних технологічних умов. У промислових умовах дедалі частіше застосовуються селекціоновані культури дріжджів, що характеризуються прогнозованою активністю, стабільністю властивостей і технологічною надійністю. Вибір конкретного виду або штаму дріжджів залежить від типу житнього хліба, тривалості ферментації та вимог до якості готового виробу (Bordet, Joran, Klein, Roullier-Gall, & Alexandre, 2020).

Закваски для виробництва житнього хліба повинні відповідати низці технологічних і мікробіологічних вимог. Передусім вони мають забезпечувати стабільне кислотонакопичення до рівня, оптимального для інактивації амілаз житнього борошна та формування структури м'якуша. Важливою вимогою є також достатня газоутворювальна здатність, яка визначає об'єм і пористість хліба. Закваски повинні бути мікробіологічно стабільними, без наявності сторонньої або патогенної мікрофлори, та характеризуватися відтворюваністю властивостей при багаторазовому оновленні (Dobre, Cucu, & Velc, 2024).

Крім того, закваски мають бути адаптованими до умов виробництва, зокрема до температурних режимів, вологості та складу поживного середовища. Важливе значення має їхня ферментативна активність, оскільки продукти метаболізму мікроорганізмів беруть участь у формуванні смаку, аромату та харчової цінності житнього хліба. Закваски також сприяють подовженню терміну зберігання хліба завдяки накопиченню органічних кислот, які пригнічують розвиток пліснявих грибів і бактерій псування (Oleinikova, Amangeldi, Zhaksylyk, Saubenova, & Sadanov, 2025).

У сучасній хлібопекарській промисловості закваски та дріжджі для виробництва житнього хліба випускаються у різних формах. Найбільш поширеними є рідкі закваски, які безпосередньо підтримуються на підприємствах шляхом регулярного підживлення борошном і водою. Такі закваски забезпечують традиційний смак і аромат виробів, однак потребують суворого контролю технологічних параметрів. Поряд із цим застосовуються сухі та концентровані закваски промислового виробництва, які містять стандартизований склад мікроорганізмів і дозволяють спростити технологічний процес та підвищити його стабільність (Hernández-Parada et al., 2022).



Рис. 1.2. Приклад випуску житніх заквасок

(<https://prom.ua/ua/p1589075019-cemejnaya-rzhanaya-zakvaska.html>; <https://pekar-konditer.com.ua/uk/jitnya-zakvaska-dlya-hliba-rye-bread-attivo-1-kg>)

Дріжджі, що входять до складу заквасок або використовуються додатково, можуть випускатися у пресованій, сушеній або сухій активній формі. Кожна з цих форм має свої технологічні особливості та умови застосування, проте їх вибір у виробництві житнього хліба завжди узгоджується з типом закваски та режимами ферментації (Buczowski, 2013).



Рис. 1.3. Приклад випуску біомаси дріжджів (<https://pekar-konditer.com.ua/uk/hlibopekarski-drijdji-zdoba-presovani-1-kg>)

Отже, закваски для виробництва житнього хліба є складними біологічними системами, в яких ключову роль відіграють дріжджі, адаптовані до умов підвищеної кислотності. Їхній склад, властивості та форма застосування визначають ефективність процесу культивування, стабільність технології та якість готового продукту, що обґрунтовує актуальність детального вивчення процесів культивування дріжджів у подальших розділах дипломної роботи.

**РОЗДІЛ 2**  
**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА**  
**БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА**

**2.1. Обґрунтування вибору біологічного агента та поживного середовища для його культивування**

Вибір біологічного агента для культивування у виробництві житнього хліба ґрунтується на розумінні складної мікробної екосистеми, що утворюється у заквасці, та специфічних фізіолого-метаболічних властивостей мікроорганізмів у цій системі. У заквасках для житнього тіста ключову роль відіграють не тільки молочнокислі бактерії, але й різноманітні види дріжджів, здатні ефективно функціонувати в умовах підвищеної кислотності, низького рН і конкурувати за доступні вуглеводи. Така сумісна діяльність мікроорганізмів визначає не лише розпушення тіста, але й формування органолептичних властивостей, кислотності і ароматичного профілю хліба.

Серед дріжджових видів, які найчастіше асоціюються з житніми заквасками, одним з найпоширеніших є *Saccharomyces cerevisiae*. Цей вид дріжджів традиційно використовують у хлібопекарській практиці завдяки його здатності інтенсивно ферментувати сахариди з утворенням діоксиду вуглецю й спирту, що сприяє об'ємності тіста та підйому хлібобулочного виробу. *S. cerevisiae* може бути як компонентом природної закваски, так і вводиться окремо як культурний штам, що забезпечує контрольовану активність бродіння і стабільні результати при повторних циклах ферментації (Mititiuc, Dabija, & Avramia, 2025).

Окрім *S. cerevisiae*, у житніх заквасках широко виявляють інші дріжджові таксони, адаптовані до умов підвищеної кислотності, характерної для житнього тіста. Зокрема, *Kazachstania exigua* (раніше називаний *Saccharomyces exiguus*) є характерним представником мікрофлори традиційних заквасок — він більш

					<b>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</b>					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Антоненко О.С.			<b>РОЗДІЛ 2</b> <b>ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ</b> <b>ТА ХАРАКТЕРИСТИКА</b> <b>БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА</b>					
Перевір.		Резніченко Ю.М.						Літ.	Арк.	Аркушів
Реценз.									14	64
Н. Контр.								<b>Кафедра БТМ</b>		
Затверд.		Стабніков В.П.								

кислотостійкий, ніж стандартні пекарські штами, і забезпечує стабільне газоутворення під час ферментації за низького рН (Mititiuc, Dabija, & Avramia, 2025).

Іншою важливою групою є дріжджі родів *Candida* і *Wickerhamomyces*, які часто виявляють у заквасках різних регіональних традицій, включно з житніми заквасками. *Candida humilis* (тісно пов'язаний із *Kazachstania humilis* у сучасній таксономії) широко зустрічається у житньому середовищі ферментації і відзначається здатністю підтримувати рівномірний процес ферментації, сприяти формуванню ароматичного профілю тіста та працювати у симбіозі з молочнокислими бактеріями. Також можуть бути присутні *Wickerhamomyces anomalus*, *Torulaspota delbrueckii* та інші не-пекарські дріжджі, які збільшують різноманітність мікрофлори закваски і можуть впливати на специфіку смаку та структури тіста (Mititiuc, Dabija, & Avramia, 2025).

Різноманіття дріжджових видів у заквасці визначається не лише видом борошна, але й такими технологічними параметрами, як температура ферментації та гідратація тіста. Це створює складну динаміку мікробної екосистеми: деякі види домінують на ранніх стадіях, тоді як інші — під час тривалого підтримання закваски (Mititiuc, Dabija, & Avramia, 2025).

В табл.2.1. продемонстровано порівняння нетрадиційних дріжджів, що можна застосовувати для хлібопечіння.

Наведені дані демонструють, що різні види дріжджів для житніх заквасок мають відмінні потреби у складі поживного середовища та в умовах культивування, що відображає їх фізіологічні особливості та метаболічну активність. Так, штам *H. vineae* TW15 розвивався на середовищі, збагаченому дріжджовим екстрактом, пептоном та глюкозою, із додаванням мінеральних солей і піногасника, при температурі 30 °C протягом 24 годин. Для *C. tropicalis* H346 С оптимальним середовищем виявилася меляса та дріжджовий екстракт, а культивування проводилося при 28 °C протягом 48 годин. Штам *P. kudriavzevii*

## Порівняння різних штамів дріжджів для виробництва житнього хліба

Дріжджі	Склад поживного середовища в г/л	Умови культивування	Концентрація життєздатних клітин, КУО/мл	Концентрація біомаси, г/л	Література
<i>Hanseniaspora vineae</i> TW15	Дріжджовий екстракт – 10,0 Пептон – 20,0 Глюкоза – 20,0 КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub> – 2,0 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O – 1,0 Adekanol LG-294 (піногасник) – 0,5	30 °С, 24 год, 150 об/хв	-	5,25 (перерахунок з 60 мл)	Takaya, M., Ohwada, T., & Oda, Y. (2019). Characterization of the yeast <i>Hanseniaspora vineae</i> isolated from the wine grape 'Yamasachi' and its use for bread making. <i>Food science and technology Research</i> , 25(6), 835-842. <a href="https://doi.org/10.3136/fstr.25.835">https://doi.org/10.3136/fstr.25.835</a>
<i>Candida tropicalis</i> H346 C	Меяса з цукрової тростини – 8, Дріжджовий екстракт – 7,5	28 °С, 48 год, 140 об/хв	9,91×10 <sup>5</sup>	9,4 (перерахунок з 50 мл)	Utami, U., Nadiya, R. A., & Harianie, L. (2024, February). The effect of molasses and yeast extract concentration on yeast growth as leavening agent for bread. In <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i> (Vol. 1312, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. <a href="https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012062">https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012062</a>
<i>Pichia kudriavzevii</i> FJ1	Меяса освітлена (вміст цукру 10%) – 400, Рідкий кукурудзяний екстракт – 50, Сечовина – 1,5, КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub> – 0,5, MgSO <sub>4</sub> – 0,5	30 °С, 42 год, 120 об/хв, рН 6,0	-	6,54	Malik, H., Katyal, P., & Sharma, S. (2017). Biomass Yield Efficiency of Baker's Yeast Strain on Agro-Industrial Wastes and Its Utilization in Bread Making. <i>Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci</i> , 6(8), 2740-2753. <a href="https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.606.328">https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.606.328</a>

FJ1 ефективно ріс на суміші освітленої меляси та рідкого кукурудзяного екстракту з додаванням сечовини та мінеральних солей при рН 6,0, 30 °С протягом 42 годин.

Спостереження за врожайністю біомаси та життєздатністю клітин показують значні відмінності між штамми. Так, *C.tropicalis* H346 С досягла концентрації життєздатних клітин  $9,91 \times 10^5$ , що відповідає 9,4 г/л. Для *H. vineae* TW15 та *P. kudriavzevii* FJ1 біомаса становила 5,25 г/л та 6,54 г/л відповідно, що свідчить про різну здатність дріжджів накопичувати біомасу в залежності від поживних умов і технологічних параметрів.

Результати також підтверджують, що температура, тривалість культивування та рН середовища є критично важливими факторами росту дріжджів. *Hanseniaspora vineae* активно розвивається при короткій ферментації за помірної температури, тоді як *C. tropicalis* потребує тривалішого культивування, а *P. kudriavzevii* — середовища із рН 6,0 та більш тривалого часу росту. При цьому склад поживного середовища має відповідати специфічним потребам штамів: *H. vineae* потребує легкозасвоюваних вуглеводів і білкових компонентів, *C. tropicalis* ефективно використовує м'ясові середовища, а *P. kudriavzevii* здатна до росту на агроіндустріальних відходах, таких як м'яса та кукурудзяний екстракт, що робить її перспективною для промислового виробництва хлібопекарських дріжджів.

Проте, для більш детального порівняння потрібно визначити вартість 1 л поживного середовища, а також умовну вартість біомаси дріжджів, що показано в табл.2.2 та табл.2.3. нижче.

Аналіз таблиці свідчить, що вартість поживних середовищ для різних штамів дріжджів значно різниться, що відображає як склад середовища, так і ціни окремих компонентів. Для штаму *H. vineae* TW15 середовище містить високовартісні складові, зокрема дріжджовий екстракт і пептон, що робить його загальну вартість приблизно 35 грн на 1 л. У випадку *C. tropicalis* H346 С, основними джерелами поживних речовин є м'яса та дріжджовий

**Визначення вартості поживного середовища для одержання біомаси  
дріжджів**

Продуцент	Компонент поживного середовища, г/л	Ціна компонента, грн/кг	Вартість компонента (грн) на 1л середовища	Джерело інформації*
<i>Hanseniaspora vineae</i> TW15	Дріжджовий екстракт – 10,0	705	7,05	1
	Пептон – 20,0	1320	26,4	2
	Глюкоза – 20,0	34	0,68	3
	КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub> – 2,0	59	0,12	4
	МgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O – 1,0	21	0,02	5
	Адеканол LG-294 (піногасник) – 0,5	1460	0,73	6
<b>Вартість 1 л середовища ≈ 35 грн</b>				
<i>Candida tropicalis</i> H346 C	Меляса з цукрової тростини – 8,	120	0,96	10
	Дріжджовий екстракт – 7,5	705	5,29	1
<b>Вартість 1 л середовища ≈ 6,25 грн</b>				
<i>Pichia kudriavzevii</i> FJ1	Меляса освітлена (вміст цукру 10%) – 400	15,22*	6,09	7
	Рідкий кукурудзяний екстракт – 50	80	4	9
	Сечовина – 1,5	23	0,03	8
	КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub> – 0,5	59	0,03	4
	МgSO <sub>4</sub> – 0,5	21	0,01	5
<b>Вартість 1 л середовища ≈ 10,16 грн</b>				

Примітка: 1 - <https://vianoksgel.ua/ua/p2429300269-drozhzhevoj-ekstrakt.html>, 2 - <https://www.systopt.com.ua/ru/item-pepton-fermentatyvnyj?srsId=AfmBOorlTSwJWZHHZDCimrFi9cm4889Wcvw-xikXvMTBxLIItQvdyw7yJ>, 3 - <https://soda.kiev.ua/p92855184-glyukoza-pischevaya.html>, 4 - <https://megachem.com.ua/ua/digidroortofosfat-kaliya.html>, 5 - <https://soda.kiev.ua/ua/p39521742-sulfat-magniya.html>, 6 - <https://www.a2bchem.com/9038-95-3.html>, 7 - <https://www.a2bchem.com/9038-95-3.html>, 8 - <https://soda.kiev.ua/ua/p609009652-mochevina-chda.html>, 9 - [https://patoka.org.ua/product-catalog/csl-kukurudzyanyj-ekstrakt-10-l/?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=23277142723&gbraid=0AAAAA-huhpxbISyHnSYsb8biJHRZkP6V0&gelid=Cj0KCQiAyvHLBhDIARIsAHxl6xrVBsytCkLK2wA5988q4Whl3ZFajvOZKRRYU4I8Pi3ID9ui8csOksaAqnIEALw\\_wcB](https://patoka.org.ua/product-catalog/csl-kukurudzyanyj-ekstrakt-10-l/?gad_source=1&gad_campaignid=23277142723&gbraid=0AAAAA-huhpxbISyHnSYsb8biJHRZkP6V0&gelid=Cj0KCQiAyvHLBhDIARIsAHxl6xrVBsytCkLK2wA5988q4Whl3ZFajvOZKRRYU4I8Pi3ID9ui8csOksaAqnIEALw_wcB), 10 - <https://prosugar.com.ua/ru/products/patoka-trostonikovaya-melassa-1-ya-stepen-peregonki>

екстракт, і загальна вартість середовища значно нижча — близько 5,85 грн на 1 л, що свідчить про економічну перевагу використання менш дорогих компонентів. Середовище для *P. kudriavzevii* FJ1 складається переважно з освітленої меляси та рідкого кукурудзяного екстракту з додаванням мінімальних кількостей мінеральних солей і сечовини; його вартість становить приблизно 10,16 грн на

1 л, що робить його проміжним за економічною доцільністю між середовищами для TW15 та H346 C.

Тож, узагальнене порівняння представлено в табл.2.3.

Таблиця 2.3.

### Узагальнена таблиця штамів дріжджів

Біологічний агент	Вартість 1 л середовища, грн	Концентрація біомаси, г/л	Умовна вартість 1 г біомаси, грн/г	Тривалість культивування, год	Кількість утворених г біомаси за годину, г/год
<i>Hanseniaspora vineae</i> TW15	35	5,25	6,66	24	0,22
<i>Candida tropicalis</i> H346 C	6,25	9,4	0,66	48	0,196
<i>Pichia kudriavzevii</i> FJ1	10,16	6,54	1,55	42	0,156

Аналіз наданих даних дозволяє зробити висновки щодо економічної ефективності та продуктивності культивування різних дріжджових штамів. Найвищу концентрацію біомаси (9,4 г/л) забезпечує *C. tropicalis* H346 C при відносно низькій вартості середовища (5,85 грн/л), що дає мінімальну умовну вартість 1 г біомаси — лише 0,66 грн/г. Хоча *H. vineae* TW15 формує біомасу швидше за одиницю часу (0,22 г/год проти 0,196–0,156 г/год у інших штамів), його висока вартість середовища (35 грн/л) призводить до найбільшої умовної вартості 1 г біомаси (6,66 грн/г). Штам *P. kudriavzevii* FJ1 займає проміжне положення за економічною ефективністю (умовна вартість 1 г біомаси — 1,55 грн/г) і має відносно тривале культивування (42 год), але його продуктивність за годину формування біомаси найнижча (0,156 г/год).

Отже, *C. tropicalis* H346 C є найбільш економічно вигідним варіантом для виробництва біомаси, тоді як *H. vineae* TW15 характеризується високою швидкістю росту, але значно дорожчим середовищем. *P. kudriavzevii* FJ1 може розглядатися як компромісний варіант між економічністю та продуктивністю.

## 2.2. Розрахунок складу поживного середовища

Основним джерелом вуглецю в середовищі виступає м'яса, а азоту — дріжджовий екстракт. В м'ясі цукрової тростини міститься близько 74% цукрів

(<https://prosugar.com.ua/ru/products/patoka-trostnikovaya-melassa-1-ya-stepen-peregonki>), отже з 8 г їх кількість становитиме  $8 \cdot 0,74 = 5,92$  г. В цукрах в середньому кількість вуглеводів становить 40%. Тож, з 5,92 г цукру можна отримати  $5,92 \cdot 0,4 = 2,37$  г вуглецю. Половина піде на холосте окислення, тому кількість доступного вуглецю становитиме  $2,37/2 = 1,89$  г. Біомаса складається на половину з вуглецю, тож із зазначеної кількості меляси можна отримати  $1,89/0,5 = 2,37$  г біомаси, що не відповідає зазначеній концентрації – 9,4 г. Тож, якщо з 8 г меляси можна отримати 2,37 г біомаси, то кількість меляси для того, щоб отримати 9,4 г біомаси становитиме  $9,4 \cdot 8/2,37 = 31,7$  г. Оскільки компоненти поживного середовища вносять в надлишку, пропонується в середовищі передбачити 35 г меляси.

Дріжджовий екстракт містить близько 10%, тож кількість азоту в середовищі становитиме 0,75 г. В біомасі міститься 10% азоту, тому теоретична концентрація становить 7,5 г, чого знову не є достатньо. Для одержання біомаси в 9,4 г потрібно щонайменше передбачити 9,4 г дріжджового екстракту, а з запасом пропонується передбачити 10 г.

В табл.2.4. показаний фінальний склад середовища.

Таблиця 2.4.

#### Перерахунок складу поживного середовища

Компоненти	Було, г/л	Стало, г/л
Меляса цукрової тростини	8	35
Дріжджовий екстракт	7,5	10

### 2.3. Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки біологічного агента

*C. tropicalis* є дріжджовим мікроорганізмом, що належить до роду *Candida*. Клітини мають округлу або овальну форму, розміром приблизно 2–6 μм у діаметрі. В культурі на твердих поживних середовищах формує світлі, кремові або рожеваті колонії, гладкі, опуклі, з характерним блиском на поверхні. На

середовищах типу Sabouraud dextrose agar колонії можуть досягати 2–4 мм у діаметрі через 24–48 години інкубації при 28–30 °C (<https://microbenotes.com/candida-tropicalis/>).

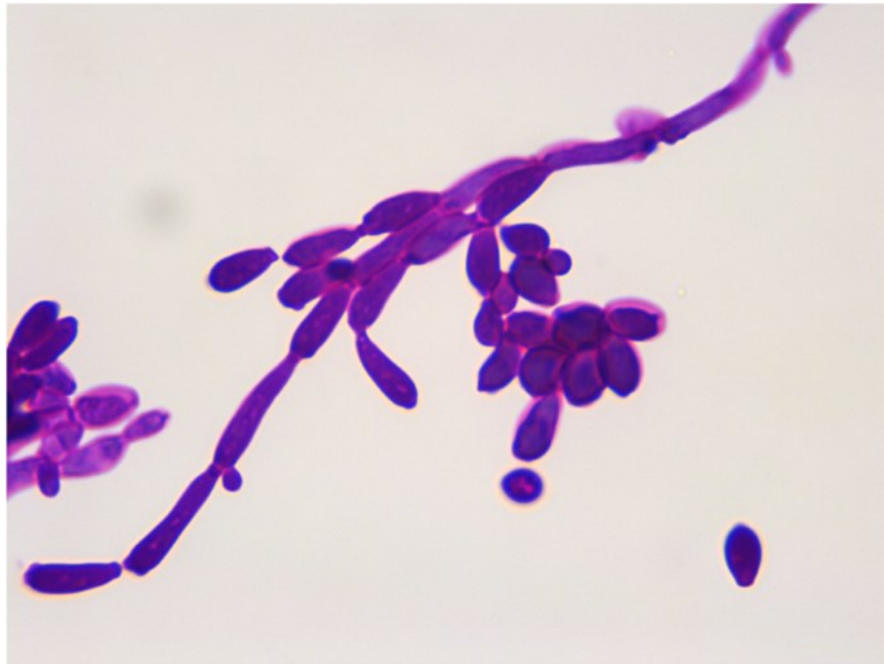


Рис.2.1. Зафарбовані метиленовим синім клітини *C. tropicalis* (Zhai et al., 2021)

Клітини здатні утворювати псевдогіфи, особливо при вирощуванні у рідких середовищах або на агарі з додаванням серума, що є характерною ознакою патогенних дріжджів роду *Candida*. Псевдогіфи у *C. tropicalis* тонкі, короткі, розгалужені, з окремими бруньками на кінцях (<https://microbenotes.com/candida-tropicalis/>).

Фізіолого-біохімічні ознаки *C. tropicalis* характеризуються її здатністю до аеробного та факультативного анаеробного метаболізму. Ці дріжджі ефективно ферментують глюкозу, сахарозу, мальтозу та інші моно- і дисахариди з утворенням етанолу та вуглекислого газу, при цьому частина вуглеводів може окислюватися в присутності кисню. В якості джерел азоту *C. tropicalis* використовує амінокислоти, пептони, сечовину та амонійні солі, забезпечуючи синтез білків і нуклеїнових кислот. Дріжджі проявляють високу ферментативну активність, продукуючи амілази, протеази та фосфатази, що дозволяє йому засвоювати складні органічні субстрати в середовищі. Оптимальна температура

росту становить 28–30 °С, однак штам здатний розвиватися і при 37 °С, що свідчить про його термотолерантність. *C. tropicalis* добре переносить помірно кисле середовище з рН 4–6, що є важливим для заквасок житнього хліба, де відбувається накопичення органічних кислот. Крім того, дріжджі цього виду ефективно взаємодіють з молочнокислими бактеріями, підтримуючи симбіотичний розвиток у заквасці та одночасно пригнічуючи потенційно патогенні мікроорганізми завдяки утворенню етанолу та органічних кислот (<https://microbenotes.com/candida-tropicalis/>).



Рис.2.2. Колонії *C. tropicalis* на Сабуро декстрозному агарі (Zhai et al., 2021)

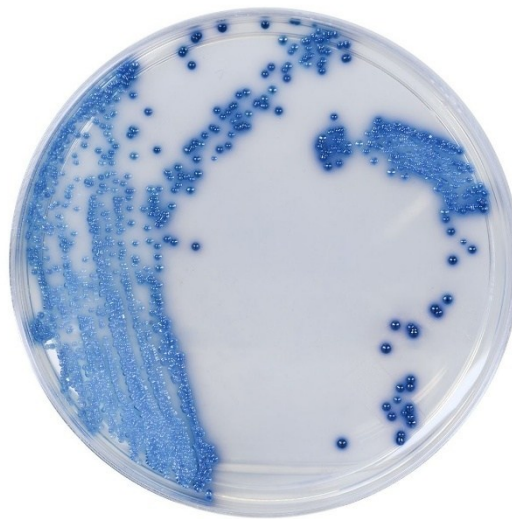


Рис.2.3. Колонії *C. tropicalis* на хромогенному агарі (<https://hardydiagnostics.com/g301>)

## 2.4. Таксономічний статус біологічного агента

*C. tropicalis* належить до роду *Candida* в родині *Saccharomycetaceae*, що входить до класу *Saccharomycetes*, типу *Ascomycota*, відділу *Fungi*. Цей вид дріжджів є непатогенним сапрофітом, широко поширеним у природних середовищах, включаючи ґрунт, рослинні матеріали та ферментовані харчові продукти. Таксон *C. tropicalis* характеризується здатністю утворювати псевдогіфи, ферментувати різні моно- та дисахариди, а також переносити помірно кисле середовище. Вид був офіційно описаний у ХХ столітті і зареєстрований у міжнародних базах мікроорганізмів (наприклад, ATCC 750) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=5482>).

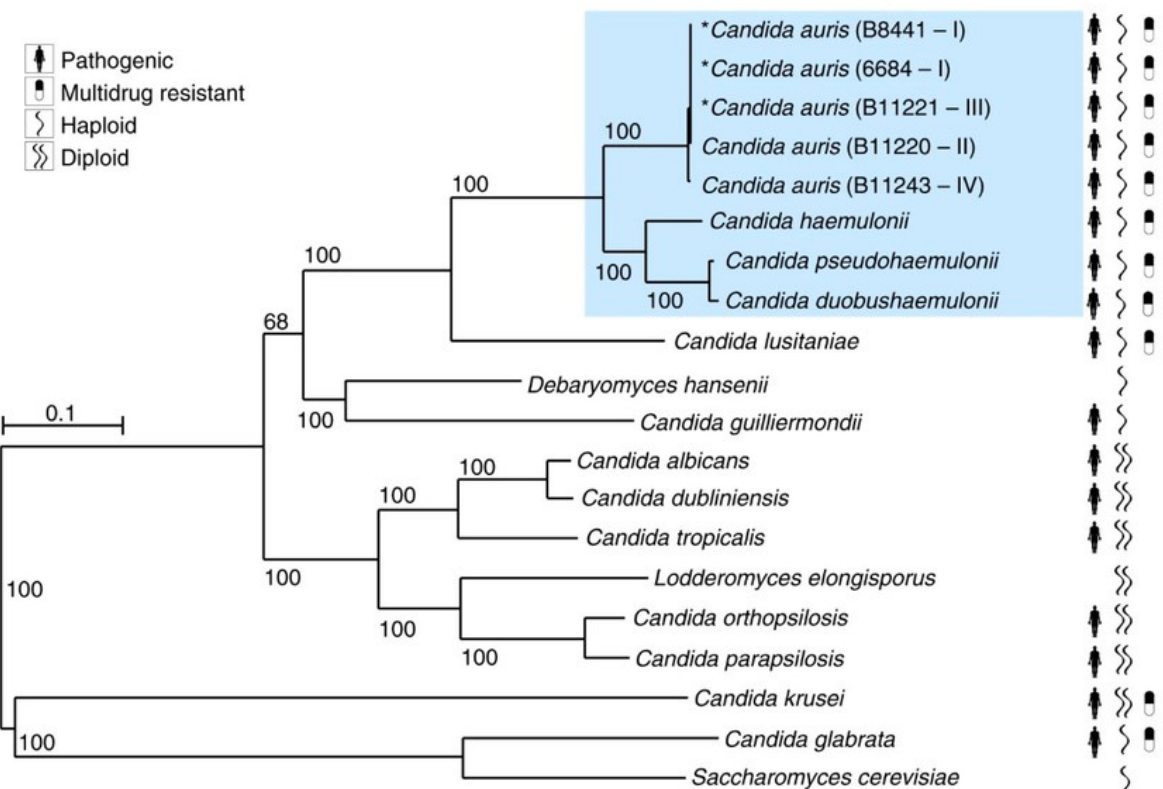


Рис.2.4. Філогенетичне дерево *C. tropicalis* (Arastehfar et al., 2020)

Таксономічна

схема

(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=5482>):

Царство: *Fungi*

Відділ: *Ascomycota*

Клас: *Saccharomycetes*

Порядок: *Saccharomycetales*

Родина: *Saccharomycetaceae*

Рід: *Candida*

Вид: *Candida tropicalis*

## РОЗДІЛ 3

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

#### 3.1. Потреба у житньому хлібі

Хлібобулочна промисловість є однією з ключових галузей харчової індустрії, забезпечуючи населення основним джерелом енергії, білків та вітамінів групи В. Виробництво хліба займає значну частину ринку продуктів харчування завдяки його доступності, тривалому терміну зберігання та високій споживчій популярності. Індустрія хліба постійно адаптується до сучасних тенденцій здорового харчування, зростаючого попиту на продукцію з підвищеною харчовою цінністю та натуральними компонентами (Гріщенко, 2025).

Особливе місце у хлібобулочній індустрії займає житній хліб, який вирізняється високим вмістом клітковини, мінералів і вітамінів, а також здатністю підтримувати нормальну роботу травної системи. Житній хліб містить складні вуглеводи та полісахариди, які повільно засвоюються організмом, що забезпечує тривале відчуття ситості та стабілізує рівень глюкози в крові. Крім того, закваски, що використовуються у його виробництві, сприяють розвитку корисної мікрофлори кишечника і підвищують біодоступність мінералів, таких як залізо та магній (<https://www.unian.ua/curiosities/yakiy-hlib-korisnishiy-zhitniy-chi-pshenichniy-vidpovid-diyetologiv-13261680.html>).

Зростаючий інтерес до здорового харчування та природних технологій бродіння робить житній хліб перспективним продуктом на ринку, а відповідно підвищує потребу у високоякісних заквасках і спеціалізованих дріжджових культурах для забезпечення стабільної якості та смакових властивостей.

За даними профільних асоціацій та ЗМІ, обсяги виробництва хліба та хлібобулочних виробів в Україні у 2025 році залишаються вагомими. Так, промислове виробництво хліба та хлібобулочних продуктів у січні–липні 2025

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Антоненко О.С.</i>					25	64
<i>Перевір.</i>		<i>Резніченко Ю.М.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Стабніков В.П.</i>			<i>Кафедра БТМ</i>			

року скало близько 207 000 тонн. На житні хлібобулочні вироби припадає близько 48,7% (<https://en.interfax.com.ua/news/economic/1110515-amp.html>).

Дл початку попросується визначити річну потребу, оскільки актуальна статистика показує потребу лише на 7 місяців. Отже, приблизний показник річного виробництва хліба становить:

$$\frac{207\,000}{7} \times 12 \approx 354\,857 \text{ тонн}$$

З них, як було зазначено раніше, на житній хліб припадає 48,7%. Тоді, його кількість становить:

$$354\,857 \times 0,487 = 172\,815,4 \text{ тонн}$$

З 1 кг борошна виходить близько 1,45-1,56 кг (усереднено візьмемо 1,5 кг) готового житнього хліба (Stępniewska et al., 2024). Тож, необхідна кількість борошна становить:

$$\frac{172\,815,4}{1,5} = 115\,210,3 \text{ тонн}$$

За рецептом житнього борошна до 8 кг зазвичай додають близько 300 г дріжджів, що відповідає 3,75% від маси борошна (<https://www.lesaffre.pl/recipes/zytni/>). Тоді, потреба в дріжджах для виробництва житнього хліба становить:

$$115\,210,3 \times 0,0375 = 4\,320,4 \text{ тонн}$$

В табл.3.1. показана узагальнена таблиця прорахунку потреби в дріжджах для виробництва житнього хліба.

Таблиця 3.1.

### Річна потреба в дріжджах для виробництва житнього хліба

Річна потреба в хлібі, т	Частина житнього хліба, %	Річна потреба в житньому хлібі, т	Співвідношення готового виробу до борошна, кг/кг	Кількість борошна для виробництва житнього хліба, т	Частина дріжджів у житньому хлібі, %	Річна потреба в дріжджах для житнього хліба, т
354 857	48,7	172 815,4	1,5/1	115 210,3	3,75	4 320,4

### 3.2. Розрахунок потужності виробництва

Серед ключових гравців ринку хлібобулочних виробів відзначається бренд «Київхліб», який у 2025 році утримує лідерську позицію серед членів асоціації пекарів з часткою близько 32,8 %, випереджаючи інших великих учасників за обсягом виробленої продукції та дистрибуційними можливостями. Разом із ним на ринку присутні численні підприємства як національного, так і регіонального рівня, що пропонують широкий асортимент хлібних виробів, включно з традиційними житніми сортами, змішаними житньо-пшеничними та іншими форматами продукції. Аналітичні огляди також вказують на те, що український хлібний ринок не має абсолютного домінанта з часткою понад 10 %, а конкуренція зосереджена між багатьма середніми та малими виробниками, а також мережевими пекарнями і приватними підприємцями, що дозволяє утримувати певний динамізм у пропозиції продуктів і реагувати на зміни споживчого попиту (<https://cases.media/en/news/kiyivkhlid-lider-khlidobulochnoyi-galuzi-ukrayini>, <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/obzor-rynka-hlebobulochnyh-i-muchnyh-konditerskih-izdelij-v-ukraine>).

Тож, спираючись на ринок хлібу пропонується звернути увагу саме на секторі, де відсутня абсолютна домінанта – крафтових маленьких виробництв, а отже розглядати лише 5% від початкової потреби:

$$4\,320,4 \times 0,05 = 216 \text{ тонн}$$

Виробництво дріжджів як базового біологічного агенту для хлібопекарської галузі в Україні також має власну конкурентну структуру. Одним із найбільш помітних виробників є Enzym Group — велика біотехнологічна компанія, що спеціалізується на розробці та виробництві продуктів на основі дріжджових клітин, включно з дріжджовими культурами для хлібопекарських потреб, харчовими і фідними продуктами. Компанія займає домінуючі позиції на ринку України та є одним із провідних виробників дріжджів у Східній Європі. Частка продукції цієї компанії використовується на багатьох українських хлібозаводах, де понад 50 % підприємств промислового

хлібопечення використовують продукти Enzym Group у своїх технологічних процесах ([https://en.wikipedia.org/wiki/Enzym\\_Group](https://en.wikipedia.org/wiki/Enzym_Group)).

Попит на дріжджові продукти для хлібопекарської промисловості забезпечує певну стійку базу збуту для таких виробників, але водночас існує конкуренція між імпортними та вітчизняними виробами, а також між технологічними поставниками сухих, пресованих або спеціалізованих дріжджових культур. Імпортні продукти та альтернативні види дріжджових культур можуть займати частину ринку, проте вітчизняні виробництва, представлені компаніями з розвиненим технічним потенціалом та науковою підтримкою, зберігають значну частку внутрішнього ринку.

Тож, з наявністю високої конкуренції на ринку дріжджів, орієнтованість на крафтові виробництва, а також специфічності запропонованих дріжджів, для початку пропонується забезпечувати лише 0,15% від визначеної потреби, що становить:

$$216 \times 0,0015 \approx 324 \text{ кг дріжджів}$$

З врахуванням того, що як біологічний агент було обрано *S. tropicalis* H346 C, яка синтезує 9,4 г/л біомаси, кількість культуральної рідини становитиме:

$$\frac{324}{9,4} = 34,5 \text{ м}^3$$

З врахуванням втрат на виділення та очищення, які становитимуть 10%, річна потреба в культуральній рідині становитиме:

$$\frac{34,5}{(1 - 0,10)} = 38,3 \text{ м}^3$$

### **3.3. Розрахунок об'єму ферментера та кількості виробничих циклів**

Для забезпечення річної потреби в дріжджах (згідно п.3.2) потрібно отримати (з урахуванням втрат під час виділення) 38,3 м<sup>3</sup> культуральної рідини (V<sub>кр</sub>).

Розрахуємо, скільки культуральної рідини потрібно отримати за цикл ферментації, щоб розрахувати кількість стадій приготування посівного

матеріалу. Приймаємо кількість трудоднів ( $T_{TP}$ ) – 330, тоді об'єм культуральної рідини за добу ( $V_D$ ) становить:

$$V_D = V_{KP} / T_{TP} = 38,3/330 \approx 116 \text{ л}$$

Кількість продукту за цикл буде становити:

$$V_{ЦК} = (K_1 \times V_D \times T_{ЦФ})/24 = (1,1 \times 116 \times 56,5)/24 = 300 \text{ л/цикл,}$$

де  $T_{ЦФ}$  – цикл роботи ферментера, який включає тривалість виробничого біосинтезу ( $T_K = 48$  год) та час підготовки ферментера до роботи ( $T_{ПР} = 8,5$  год).  $K_1$  – коефіцієнт запасу, що враховує можливість нестерильних операцій ( $K_1 = 1,1 - 1,5$ ).

Підготовка ферментера ( $T_{ПР}$ ) включає: миття та огляд (1,5 год), перевірка на герметичність (1 год), підігрів апарату (0,5 год), стерилізація (1 год), охолодження (1 год), завантаження середовища (2 год), засів (0,5 год), вивантаження культуральної рідини (1 год).

Визначивши об'єм культуральної рідини за один цикл і знаючи коефіцієнт заповнення  $K_S$ , визначаємо геометричний об'єм ферментера:

$$V_{ГФ} = V_{ЦК} / K_S = 300/0,6 = 500 \text{ л.}$$

Згідно з таблицею, найближчим за геометричним об'ємом є ферментер  $V_{ГФ} = 500$  л.

#### **3.4. Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу**

Виробничий біосинтез біомаси дріжджів здійснюють у ферментері геометричним об'ємом ( $V_{ГФ}$ ) 500 л з коефіцієнтом заповнення ( $K_S$ ) 0,6.

Робочий об'єм ферментера ( $V_{РОБ}$ ) становить:

$$V_{РОБ} = V_{ГФ} \times K_S = 500 \times 0,6 = 300 \text{ л}$$

Кількість посівного матеріалу становить 10 % від об'єму поживного середовища. Отже, для одержання 300 л культуральної рідини потрібно:

$$V_{РОБ,1} = 300 \times 0,1 = 30 \text{ л посівного матеріалу.}$$

Таку кількість інокуляту можна одержати під час культивування в посівному апараті об'ємом:

$$V_{ПА1} = V_{РОБ,1} / K_S = 30 / 0,6 = 50 \text{ л.}$$

Для одержання 30 л культуральної рідини потрібно мати:

$$V_{\text{РОБ.2}} = 30 \times 0,1 = 3 \text{ л посівного матеріалу.}$$

Приготування такої кількості інокуляту здійснюють в інокуляторі об'ємом:

$$V_{\text{ИЗ}} = V_{\text{РОБ.2}} / K_S = 3 / 0,6 = 5 \text{ л.}$$

Для одержання 3 л культуральної рідини потрібно мати:

$$V_{\text{РОБ.3}} = 3 \times 0,1 = 300 \text{ мл посівного матеріалу.}$$

Таку кількість інокуляту отримують культивуванням у колбах на качалці. Для цього використовують колби об'ємом 750 мл з 150 мл середовища в кожній. Тобто, потрібно буде 2 колби.

Висновки щодо кількості стадій підготовки посівного матеріалу, об'ємів ферментаційного обладнання і об'ємів води для підготовки поживного середовища на всіх етапах процесу наведено у табл. 3.2.

*Таблиця 3.2*

**Результати розрахунку об'ємів ферментаційного обладнання для підготовки посівного матеріалу і виробничого біосинтезу**

Об'єм ферментера, л	Коефіцієнт заповнення	Робочий об'єм ферментера (об'єм середовища) л	Об'єм посівного матеріалу (10%), л	Конденсат (10%), л	Об'єм води для приготування композицій середовища, л
500	0,6	300	30	30	240
50	0,6	30	3	3	24
5	0,6	3	0,3	0,3	2,4

Отже, процес одержання посівного матеріалу для забезпечення виробничого біосинтезу у ферментері об'ємом 500 л з коефіцієнтом заповнення 0,6 буде проходити у 3 етапи.

## РОЗДІЛ 4

### ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

#### 4.1. Обґрунтування способу культивування і типу ферментера

Вибір способу культивування біологічного агента є одним із ключових етапів розроблення технологічної схеми виробництва, оскільки саме він визначає інтенсивність росту мікроорганізмів, рівень накопичення біомаси, стабільність процесу та його економічну ефективність. Для виробництва дріжджових культур, призначених для використання у хлібопекарській промисловості, зокрема у технологіях житнього хліба, найбільш доцільним є культивування у рідкому поживному середовищі в контрольованих умовах.

Дріжджі, що застосовуються у заквасках для житнього хліба, належать до факультативно-анаеробних мікроорганізмів, здатних до інтенсивного аеробного росту з активним утворенням біомаси. Саме за умов аеробного культивування забезпечується ефективно використання вуглецевого субстрату за окисним типом метаболізму, що дозволяє зменшити утворення побічних продуктів (етанолу) та спрямувати метаболічні потоки на синтез клітинної маси. Тому для одержання дріжджів як цільового продукту оптимальним є аеробний спосіб культивування (Honchar, Naumenko, Lukianchuk, Holub, & Marynchenko, 2024).

З огляду на вимоги до якості заквасок для житнього хліба, процес культивування повинен забезпечувати не лише високу концентрацію біомаси, але й збереження фізіологічної активності клітин, їх ферментативного потенціалу та стабільних технологічних властивостей. Це можливо лише за умов точного контролю основних параметрів процесу, таких як температура, рН, інтенсивність аерації та перемішування. У зв'язку з цим культивування у відкритих або напіввідкритих системах є неприйнятним, а перевага надається глибинному культивуванню у закритих апаратах.

Для вирощування дріжджів у промислових умовах найбільш поширеними

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Антоненко О.С.</i>			<b>РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Резніченко Ю.М.</i>					31	64
<i>Реценз.</i>						<i>Кафедра БТМ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Стабніков В.П.</i>						

є періодичний, напівбезперервний та безперервний способи культивування. З урахуванням обсягу виробництва, необхідності технологічної гнучкості та спрощення контролю процесу, доцільним є застосування періодичного. Такий підхід дозволяє чітко регулювати склад поживного середовища, тривалість процесу та момент відбору біомаси з оптимальними властивостями. Періодичне культивування є технологічно простішим, забезпечує високу відтворюваність результатів і широко використовується у виробництві хлібопекарських дріжджів та заквасок.

Отже, з урахуванням біологічних особливостей дріжджів, вимог до якості кінцевого продукту та техніко-економічних аспектів виробництва, для даної технологічної схеми обґрунтованим є вибір глибинного аеробного культивування у рідкому поживному середовищі в закритому ферментаційному апараті з можливістю контролю та регулювання основних параметрів процесу. Такий спосіб культивування створює передумови для отримання високоякісної дріжджової біомаси, придатної для використання у заквасках для виробництва житнього хліба.

Для реалізації технології культивування дріжджових культур у промисловому масштабі раціональним вибором є KNIK-500 — 500-літровий біореактор/ферментер, який повністю відповідає вимогам виробничої, біотехнологічної та харчової індустрії (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).

Ця модель спеціально спроектована для великовагових ферментаційних процесів і високопродуктивного біологічного виробництва, що дозволяє використовувати її як у серійному періодичному (batch), так і у безперервному або напівбезперервному режимах культивування (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).

Конструкція ферментера виконана з харчової нержавіючої сталі 316L з внутрішньою поліруванням до високої якості поверхні, що забезпечує гарантовану стерильність, корозійну стійкість і довговічність обладнання, а

також відповідає вимогам GMP-сертифікації для біотехнологічних процесів (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).

Обладнання оснащено повним набором автоматизованих систем контролю параметрів процесу, що є критично важливим для дріжджових культур (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>):

- система регулювання та контролю рН у діапазоні 2,00–12,00 ±0,1, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для росту дріжджів;
- контроль розчиненого кисню (DO) у широкому діапазоні 0–150 % ±3 %, що є необхідним для аеробного культивування і забезпечує ефективне живлення культури киснем;
- інтегровані сенсори температури, піни, CO<sub>2</sub>, ORP та інші аналітичні модулі, що дозволяють оперативно коригувати процесні параметри;
- сучасна система перемішування з верхнім приводом і регульованою швидкістю (50–1000 об/хв), що забезпечує однорідність середовища і ефективну газообмінну взаємодію.

Серед додаткових переваг — підтримка CIP (Clean-In-Place) і SIP (Sterilize-In-Place) автоматизації, що дозволяє проводити асептичне очищення та стерилізацію без розбирання обладнання, що суттєво підвищує гігієнічний рівень виробництва та полегшує технічне обслуговування (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).

Біореактор KNIK-500 має повністю інтегровану платформу управління на базі Siemens PLC та сенсорного інтерфейсу, що забезпечує зручність операторського контролю, автоматичне логування даних процесу, сигналізацію відхилень та можливість віддаленого моніторингу (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).



*Рис.4.1.* Ферментер KNIK-500 (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>)

Габаритні розміри (приблизно 2000×1500×2800 мм) і значна вага (близько 600 кг нетто) підтверджують промисловий характер цього обладнання, що дозволяє інтегрувати його в існуючі технологічні лінії виробництва біомаси дріжджів та заквасок (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>).

Загалом KNIK-500 є оптимальним рішенням для масштабного культивування дріжджових культур у закритому ферментаційному режимі, оскільки забезпечує (<https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>):

- адекватний контроль параметрів росту (температура, рН, DO);
- можливість адаптації під різні режимні стратегії (batch, fed-batch, continuous);
- гігієнічність і відповідність харчовим стандартам;
- зручність керування і автоматизацію процесу.

Цей ферментер повністю відповідає виробничим і технологічним вимогам для реалізації культивування біологічного агента у масштабі, що планується, і може бути обґрунтовано використаний як основне обладнання у технологічній схемі виробництва заквасок для житнього хліба.

#### **4.2. Обґрунтування стадії підготовки аераційного повітря**

Культивування дріжджових культур, що застосовуються у виробництві заквасок для житнього хліба, відбувається переважно в аеробних умовах і супроводжується інтенсивним споживанням розчиненого кисню. Це пов'язано з тим, що за наявності кисню дріжджі реалізують окисний тип метаболізму, за якого вуглецевий субстрат використовується переважно для синтезу клітинної біомаси, а не для утворення етанолу. Саме такий режим є оптимальним для отримання активної та фізіологічно повноцінної дріжджової культури з високою технологічною цінністю.

З огляду на це підготовка аераційного повітря є критично важливою стадією технологічного процесу, яка безпосередньо впливає на швидкість росту дріжджів, вихід біомаси, стабільність культивування та відтворюваність результатів. Неналежна якість повітря може призвести до контамінації культури, порушення стерильності процесу, зниження продуктивності та погіршення властивостей кінцевого продукту.

Першочерговим завданням підготовки аераційного повітря є його очищення від механічних домішок та мікроорганізмів. Дріжджі, незважаючи на відносну конкурентоспроможність, є чутливими до контамінації бактеріями та сторонніми грибами, які можуть інтенсивно споживати поживні речовини або продукувати метаболіти-інгібітори. У зв'язку з цим подача нестерильного повітря у ферментер є неприпустимою. Для забезпечення асептичних умов доцільним є використання багатоступеневої системи фільтрації, що гарантує повне видалення мікробіологічних забруднень.

Другим важливим аспектом є регулювання температури та вологості аераційного повітря. Подача надмірно сухого повітря сприяє інтенсивному випаровуванню культуральної рідини, що призводить до зміни концентрації

поживних компонентів, зсуву рН та посилення піноутворення. Останнє є характерною проблемою при культивуванні дріжджів і потребує або підвищених доз піногасників, або додаткових технічних рішень. Тому повітря перед подачею у ферментер доцільно зволожувати до значень, близьких до насичення за робочої температури процесу.

Процес підготовки аераційного повітря для культивування дріжджів включає такі основні стадії.

На першому етапі здійснюють забір атмосферного повітря через повітрязабірник, розміщений на висоті 10–15 м над рівнем землі, де концентрація пилу та мікроорганізмів є мінімальною. Вхідні отвори обладнують захисними сітками для запобігання потраплянню великих механічних часток.

Наступною стадією є попередня механічна очистка, під час якої з повітря видаляють грубодисперсні частки розміром понад 5–10 мкм. Для цього використовують фільтри грубої очистки, які одночасно захищають компресорне обладнання від зносу та забруднення.

Очищене повітря піддають стисненню компресором до надлишкового тиску, необхідного для подачі у ферментер та подолання гідравлічного опору системи аерації. Як правило, тиск становить 0,3–0,5 МПа. Під час стиснення температура повітря зростає, що сприяє частковій інактивації мікрофлори та зменшенню його відносної вологості.

Після стиснення повітря проходить стадію охолодження та видалення вологи, що здійснюється у теплообмінниках і вологомасловідокремлювачах. На цьому етапі конденсована волога та можливі сліди мастильних матеріалів ефективно видаляються, що є необхідним для захисту подальших фільтраційних елементів.

Перед подачею на тонку очистку повітря підігрівають до температури 30–35 °С, що запобігає конденсації вологи на поверхні стерилізувальних фільтрів і забезпечує стабільні умови їх роботи.

Заключним етапом є тонка очистка та стерилізація повітря, яку здійснюють за допомогою мембранних фільтрів із розміром пор 0,22 мкм. Така

фільтрація забезпечує повне видалення бактерій, грибів та спор і гарантує надходження у ферментер стерильного аераційного повітря, що відповідає вимогам асептичного культивування дріжджів.

#### **4.3. Обґрунтування способу підготовки та стерилізації поживного середовища**

Для накопичення інокуляту використовується середовище наступного складу (г/л) (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024):

Дріжджовий екстракт – 5,

Солодовий екстракт – 3,

Пептон – 5,

Глюкоза – 10

Оскільки зазначене середовище містить термолабільні компоненти, всі вони будуть стерилізуватись при 115 °С протягом 20 хвилин при 0,05 МПа.

Виробниче середовище є наступним (г/л) (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024):

Меляса цукрової тростини – 35,

Дріжджовий екстракт – 10

Склад виробничого середовища також містить термолабільні компоненти, проте, оскільки середовище містить мелясу, а біологічний агент – дріжджі для хлібопекарства, необхідно передбачити її освітлення задля упередження інгібування росту біологічного агенту за наявності великої кількості катіонів кальцію. Після освітлення меляса буде стерилізуватись разом з дріжджовим екстрактом при 115 °С протягом 20 хвилин при 0,05 МПа.

##### **4.3.1 Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для одержання інокуляту в колбах на качалках**

В табл.4.1. показано розрахунок композицій для зазначеної стадії.

Таблиця 4.1.

**Розрахунок об'єму композицій для стадії одержання інокуляту в колбах на качалці**

Компонент	Концентрація, г/л	Перерахунок на 0,27 л поживного середовища, г	Композиція	Об'єм композиції, мл
Дріжджовий екстракт	5	1,35	А	270
Солодовий екстракт	3	0,81		
Пептон	5	1,35		
Глюкоза	10	2,7		
Вода	270 мл			

Для приготування поживного середовища передбачається колба об'ємом 500 мл.

**4.3.2. Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для вирощування інокуляту в посівних апаратах**

В табл.4.2. показано розрахунок композицій для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 5 л.

Таблиця 4.2.

**Розрахунок об'єму композицій для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 5 л**

Компонент	Концентрація, г/л	Перерахунок на 2,4 л поживного середовища, г	Композиція	Об'єм композиції, л
Дріжджовий екстракт	5	12	А	2,4
Солодовий екстракт	3	7,2		
Пептон	5	12		
Глюкоза	10	24		
Вода	2,2 л			
Конденсат	≈0,2 л			

Для приготування поживного середовища передбачається реактор-змішувач об'ємом 3 л, а сама стерилізація буде проходити в інокуляторі об'ємом 5 л.

В табл.4.3. показано розрахунок композицій для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 50 л.

Таблиця 4.3.

**Розрахунок об'єму композицій для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 50 л**

Компонент	Концентрація, г/л	Перерахунок на 24 л поживного середовища, г	Композиція	Об'єм композиції, л
Дріжджовий екстракт	5	120	А	24
Солодовий екстракт	3	72		
Пептон	5	120		
Глюкоза	10	240		
Вода		22 л		
Конденсат		≈2 л		

Для приготування поживного середовища передбачається реактор-змішувач об'ємом 30 л, а сама стерилізація буде проходити в інокуляторі об'ємом 50 л.

**4.3.3. Особливості підготовки і стерилізації поживного середовища для виробничого біосинтезу**

В табл.4.4. показано розрахунок композицій для стадії виробничого біосинтезу в ферментері об'ємом 500 л.

Таблиця 4.4.

**Розрахунок об'єму композицій для стадії виробничого біосинтезу в ферментері об'ємом 500 л**

Компонент	Концентрація, г/л	Перерахунок на 240 л поживного середовища, кг	Композиція	Об'єм композиції, л
Меляса	35	8,4	А	240
Дріжджовий екстракт	10	2,4		
Вода		220 л		
Конденсат		≈20 л		

Для приготування поживного середовища передбачається реактор-змішувач об'ємом 300 л, а сама стерилізація буде проходити в ферментері

об'ємом 500 л. Проте, попередньо перед цим мелясу необхідно освітлити сірчаною кислотою.

#### **4.4. Обґрунтування вибору піногасника**

У процесах аеробного культивування дріжджів піноутворення є типовим явищем, зумовленим поєднанням інтенсивної аерації, перемішування та наявності у поживному середовищі поверхнево-активних сполук. Особливо високою піноутворювальною здатністю характеризуються середовища, що містять дріжджовий екстракт, оскільки він багатий на пептиди, амінокислоти та білкові фракції, які стабілізують піну. За концентрації дріжджового екстракту 10 г/л ризик утворення стійкої піни є суттєвим і може призводити до порушення стерильності, втрат культуральної рідини та некоректної роботи датчиків рівня і рН.

Водночас меляса цукрової тростини у концентрації 35 г/л характеризується складною колоїдною природою та містить значну кількість мінеральних солей, зокрема катіони кальцію і магнію, а також високомолекулярні органічні сполуки. Ці компоненти здатні частково знижувати стабільність піни шляхом порушення білкових плівок на межі фаз «газ–рідина». Таким чином, наявність меляси може певною мірою пригнічувати піноутворення, однак цей ефект не є достатньо передбачуваним і не гарантує повного контролю піни в умовах інтенсивної аерації.

З огляду на це, для даного процесу доцільним є застосування механічного піногасника, вбудованого у ферментер. Механічний піногасник (роторного або дискового типу) забезпечує руйнування піни без внесення сторонніх хімічних агентів у культуральне середовище, що є принципово важливим при виробництві біомаси, призначеної для харчової промисловості. Крім того, відсутність хімічних піногасників унеможлиблює їх потенційний інгібуючий вплив на ріст дріжджів, масообмін кисню та подальше використання біомаси.

Хімічні піногасники (на основі силіконів або жирних кислот), хоча й ефективні, у даному випадку не є пріоритетними, оскільки можуть знижувати коефіцієнт масопереносу кисню ( $k_{La}$ ) та ускладнювати очищення обладнання.

Їх застосування може бути розглянуте лише як резервний захід у разі надмірного піноутворення, що не контролюється механічним способом.

Отже, з урахуванням складу поживного середовища (35 г/л меляси та 10 г/л дріжджового екстракту), а також вимог до чистоти процесу та якості кінцевої продукції, механічний піногасник є достатнім і технологічно обґрунтованим рішенням, тоді як використання хімічних піногасників не є обов'язковим на базовому етапі проектування процесу.

**РОЗДІЛ 5**  
**СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ**

*Таблиця 5.1*

**Специфікація обладнання допоміжних робіт та виробничого біосинтезу для одержання біомаси дріжджів**

Позиція	Найменування	Кількість	Технічна характеристика (виробник)
1	2	3	4
Р-1	Реактор-змішувач об'ємом 3 л	1	Стальний реактор моделі YHYSF-3L. Об'єм – 3 л. Тип сталі – 316. Оснащений мішалкою, датчиками контролю рН та швидкості перемішування. Габарити (мм): 200x800. Країна виробництва – Китай <sup>1</sup>
Д-2 Д-5 Д-9 Д-14	Об'ємно-ваговий дозатор для води	4	Рідинний дозатор виробника Аتما. Продуктивність до 9999 л дозування. Похибка менше 0,5%. Країна виробництва – Україна <sup>2</sup>
І-3	Інокулятор об'ємом 5 л	1	Інокулятор моделі RCP-C05L. Об'єм – 5 л. Оснащений подвійною сорочкою, мішалкою, датчиками контролю рН, розчиненого кисню, швидкості перемішування, піноутворення і т.д. Габарити (мм): 900x1300x700. Країна виробник – Німеччина <sup>3</sup>
Р-4 Р-8	Реактор-змішувач об'ємом 30 л	2	Стальний реактор моделі 30L. Об'єм – 30 л. Тип сталі – 316. Оснащений мішалкою, датчиками контролю рН та швидкості перемішування. Габарити (мм): 550x460. Країна виробництва – Китай <sup>4</sup>
І-6	Інокулятор об'ємом 50 л	1	Інокулятор моделі BZLB-504. Об'єм – 50 л. Оснащений подвійною сорочкою, мішалкою, датчиками контролю рН, розчиненого кисню, швидкості перемішування, піноутворення і т.д. Габарити (мм): 1100x900x1650. Країна виробник – Китай <sup>5</sup>
Д-7	Об'ємно-ваговий дозатор для меляси	1	Об'ємно-ваговий дозатор густих рідин SS-304. Продуктивність до 10 л дозування. Похибка менше 1%. Країна виробник – Україна <sup>6</sup>

<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Антоненко О.С.			
Перевір.		Резніченко Ю.М			
Реценз.					
Н. Контр.					
Затверд.		Стабніков В.П.			
<b>РОЗДІЛ 5</b> <b>СПЕЦИФІКАЦІЯ</b> <b>ОБЛАДНАННЯ</b>			Літ.	Арк.	Аркушів
				42	64
			<i>Кафедра БТМ</i>		

Н-10	Насос перистальтичний	1	Перистальтичний насос FLUIMAC HELIOS ASP 10 IX. Продуктивність – 200 л/год. Країна виробник – Італія <sup>7</sup>
Ц-11	Проточна центрифуга	1	Проточна центрифуга KCDM-50. Продуктивність – 40 л/год. Габарити (мм): 800х650. Країна виробник – Китай <sup>8</sup>
Р-12	Реактор-змішувач об'ємом 300 л	1	Стальний реактор моделі LEORO. Об'єм – 300 л. Тип сталі – 316. Оснащений мішалкою, датчиками контролю рН та швидкості перемішування. Габарити (мм): 1000х1000х2000. Країна виробництва – Індія <sup>9</sup>
Д-13	Ваговий дозатор	1	Дозатор ваговий двопотоковий. Дозування до 5 кг. Дискретність зважування від 0,1 г. Країна виробництва – Україна <sup>10</sup>
Н-15	Насос перистальтичний	1	Перистальтический насос DULCO®flex DFВа. Продуктивність 649 л/год. Країна виробництва – Німеччина <sup>11</sup>
Ф-16	Ферментер об'ємом 500 л	1	Інокулятор моделі KNIK-500. Об'єм – 500 л. Оснащений подвійною сорочкою, мішалкою, датчиками контролю рН, розчиненого кисню, швидкості перемішування, піноутворення і т.д. Габарити (мм): 2000×1500×2800. Країна виробник – Китай <sup>12</sup>
Н-17	Насос відцентровий	1	Відцентровий насос EUROAQUA РКМ 60 S. Продуктивність 2 м <sup>3</sup> /год. Країна виробник – Польща <sup>13</sup>

Примітка: 1 - <https://ua.ssmsteels.com/info/do-you-understand-the-difference-between-diaeme-78683592.html>, 2 - <https://agro-teh.com.ua/ua/p370228267-dozator-vody-zhidkostej.html>, 3 - <https://www.sartorius.com/download/9612/10/broch-biostat-cplus-sbi1505-e-data.pdf>, 4 - [https://glaciercoolant.en.made-in-china.com/product/WOxfpUKDasAR/China-Customizable-30L-Jacket-Reactor-Stainless-Steel-Reaction-Kettle-Chemical-Mixing-Reactor.html?acc=5494762105-lxy&cpn=21714728580-&tgt=&net=x&dev=c-&gid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsfAhrUr0M2V3c97nO1JQ1ZJODmwSGT2G-n2bRR9Xg7zcXa8QdxgzWgaAqAnEALw\\_wcB&kwd=&mtp=&loc=9061015-&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21721137545&gbraid=0AAAAA-M7K1il2IE-KXCUMgf0XyrnaoWiA&gclid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsfAhrUr0M2V3c97nO1JQ1ZJODmwSGT2G-n2bRR9Xg7zcXa8QdxgzWgaAqAnEALw\\_wcB](https://glaciercoolant.en.made-in-china.com/product/WOxfpUKDasAR/China-Customizable-30L-Jacket-Reactor-Stainless-Steel-Reaction-Kettle-Chemical-Mixing-Reactor.html?acc=5494762105-lxy&cpn=21714728580-&tgt=&net=x&dev=c-&gid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsfAhrUr0M2V3c97nO1JQ1ZJODmwSGT2G-n2bRR9Xg7zcXa8QdxgzWgaAqAnEALw_wcB&kwd=&mtp=&loc=9061015-&gad_source=1&gad_campaignid=21721137545&gbraid=0AAAAA-M7K1il2IE-KXCUMgf0XyrnaoWiA&gclid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsfAhrUr0M2V3c97nO1JQ1ZJODmwSGT2G-n2bRR9Xg7zcXa8QdxgzWgaAqAnEALw_wcB), 5 - <https://www.labzee.com/stainless-steel-bioreactor/bzlb-504>, 6 - <https://hms-ua.com/ua/p1540725680-dozator-zhidkosti-500.html>, 7 - [https://prom-nasos.com.ua/ua/catalog/pumps-by-type/peristaltic\\_pumps/peristaltichnij-nasos-fluimac-helios-asp-10-ix-200-l-god-0-37-kvt-98-ob-khv-z-regulyvannyam-produktivnost-ta-chastotnim-peretvoryuvachem/?srsltid=AfmBOor-71fa8f\\_u2y4y5nqZpCQRMXf0QFu92OC-nWeO6Ss2ozhEKfrG](https://prom-nasos.com.ua/ua/catalog/pumps-by-type/peristaltic_pumps/peristaltichnij-nasos-fluimac-helios-asp-10-ix-200-l-god-0-37-kvt-98-ob-khv-z-regulyvannyam-produktivnost-ta-chastotnim-peretvoryuvachem/?srsltid=AfmBOor-71fa8f_u2y4y5nqZpCQRMXf0QFu92OC-nWeO6Ss2ozhEKfrG), 8 - [https://www.alibaba.com/product-detail/Centrifuge-Centrifuge-Price-Flow-Ethanol-Separator\\_62423758147.html?spm=a2700.7724857.0.0.137929e1Tgw2th&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Centrifuge-Centrifuge-Price-Flow-Ethanol-Separator_62423758147.html?spm=a2700.7724857.0.0.137929e1Tgw2th&s=p), 9 - <https://www.tradeindia.com/products/chemical-reactor-9081283.html>, 10 - <https://technowagy.com.ua/products/dozator-vagovij-dvopotokovij/>, 11 - [https://prom.ua/p883467476-shlangovyj-peristalticheskij-nasos.html?utm\\_source=google\\_product&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=pla&utm\\_campaign=KT\\_cpc\\_1\\_5297199152&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20983226771&gbraid=0AAAAADbxJSUVqXL8HqgtHafFRWlfxvzb&gclid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsdTJMYp7bvpE0XI5dRRgSfhdr7y\\_GL8yFh6QDcr8lJcPs0P15514vgaAsA7EALw\\_wcB](https://prom.ua/p883467476-shlangovyj-peristalticheskij-nasos.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1_5297199152&gad_source=1&gad_campaignid=20983226771&gbraid=0AAAAADbxJSUVqXL8HqgtHafFRWlfxvzb&gclid=Cj0KCCQiA7fLBhDJARIsAOAqhsdTJMYp7bvpE0XI5dRRgSfhdr7y_GL8yFh6QDcr8lJcPs0P15514vgaAsA7EALw_wcB), 12 - <https://www.knikbio.com/Stainless-steel-bioreactors-fermentors/in-situ-sterilizable-bioreactors-500l>, 13 - <https://nasosonline.com.ua/ua/p1156252914-tsentrobezhnij-nasos-370.html?srsltid=AfmBOorinKZmWvnc0IfkA6EL1OvN9cPqBVW0Z8QMTa5FMylamNNe5rKmd>

## РОЗДІЛ 6

### ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

#### *ДР 1. Підготовка аераційного повітря*

##### *ДР 1.1. Забір атмосферного повітря*

Атмосферне повітря відбирають через вертикальну трубу з повітрозабірним пристроєм, встановленим на висоті 15 м над землею, що дозволяє зменшити кількість пилу та мікроорганізмів у повітрі.

##### *ДР 1.2. Попереднє очищення від грубодисперсних домішок*

Повітря з попереднього етапу пропускають через фільтр попереднього очищення, який затримує механічні частки пилу діаметром  $\delta > 50$  мкм. Ефективність цього очищення досягає 90%, що значно знижує рівень забруднення та частково видаляє мікроорганізми, адсорбовані на пилових частках.

##### *ДР 1.3. Стискання повітря*

Очищене повітря подають у компресор, де його стискають до тиску 0,35–0,5 МПа. При цьому температура повітря підвищується до 120–200 °С, а вміст вологи на одиницю об'єму збільшується.

##### *ДР 1.4. Охолодження та видалення надлишкової вологи*

Стиснене повітря проходить через теплообмінник-охолоджувач, де його охолоджують до 25–40 °С за допомогою охолодженої води. Конденсована волога збирається в ресивері, і відносна вологість повітря знижується до 60–70%.

##### *ДР 1.5. Нагрівання повітря*

Після охолодження повітря підігрівують у теплообміннику-нагрівачі за допомогою пари низького тиску до 60–65 °С, що дозволяє зменшити відносну вологість до приблизно 50%.

##### *ДР 1.6. Головне очищення повітря*

Нагріте повітря подають у головний фільтр тонкого очищення,

					<b>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</b>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>РОЗДІЛ 6 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Антоненко О.С.					44	64
Перевір.		Резніченко Ю.М.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						<b>Кафедра БТМ</b>

розташований поблизу ферментаційних відділень, де ступінь очищення досягає близько 95%.

#### *ДР 1.7. Кінцеве очищення в індивідуальних фільтрах*

Після головного фільтра повітря пропускають через індивідуальні стерилізувальні фільтри для кожного інокулятора та ферментера, після чого воно надходить до відповідних технологічних пунктів (ТП 4.5, ТП 4.6, ТП 4.7, ТП 5.1). Ступінь остаточного очищення становить 99,999%.

#### *ДР 2. Приготування додаткових розчинів*

##### *ДР 2.1. Приготування 10-% розчину сірчаної кислоти*

Для освітлення меляси знадобиться близько 180 мл 10-% розчину сірчаної кислоти. Із запасом пропонується приготувати 200 мл. За допомогою мірного циліндру на 250 мл відміряють 155 мл води водопровідної, яку переливають до скляної колби об'ємом 250 мл. Далі, за допомогою мірного циліндру об'ємом 50 мл відміряють 45 мл 43-% сірчаної кислоти та доливають в колбу, до якої попередньо було вилито воду. Колбу закривають гумовою пробкою та обережно перемішують. Колбу передають на наступну стадію для освітлення меляси.

*ДР 2.2. Приготування та стерилізація 6-% розчину гідроксиду натрію для нейтралізації поживного середовища для виробничого біосинтезу*

На технічних вагах зважують 29 г гідроксиду натрію та переносять в конічну колбу об'ємом 1 л. Далі, за допомогою мірного циліндру на 500 мл доливають 451 мл води водопровідної. Колбу закривають ватно-марлевою пробкою та передають на стерилізацію в автоклаві при 131 °С, 0,15 МПа, протягом 40 хвилин.

#### *ДР 3. Підготовка меляси*

##### *ДР 3.1. Розбавлення меляси*

Для більш точного розбавлення попередньо вимірюють вязкість зразка меляси. Зазвичай мелясу розбавляють до Втіх-концентрації (звичайно 30–60 Brix).

На об'ємно-ваговому дозаторі (Д-7) зважують 8,4 кг меляси та переносять до реактора (Р-8) об'ємом 30 л. Далі, за допомогою об'ємно-вагового дозатора

(Д-9) доливають 9,6 л води водопровідної. Вмикається мішалка для повного перемішування та зниження в'язкості до 40 Brix.

#### *ДР 3.2. Освітлення меляси 10-% сірчаною кислотою*

До реактора (Р-8) обережно за допомогою мірного циліндру на 250 мл доливають 180 мл. Вмикається мішалка на низьких обертах для постійного перемішування. До сорочки подається пара для підтримання температури процесу в 80 °С. За допомогою датчика рН контролюється рівень на 4,5 одиницях (зادля розуміння чи необхідно додатково вносити сірчану кислоту). Тривалість процесу становить 30 хвилин.

#### *ДР 3.3. Центрифугування освітленої меляси*

За допомогою перистальтичного насосу (Н-10) освітлений розчин меляси передається до проточної центрифуги (Ц-11). Встановлюється режим процесу: 5000 об/хв, тривалість 20 хвилин. Фугат відцентровими силами передається до реактора (Р-12), а осад вручну вивантажують на знешкодження.

### ***ДР 4. Приготування та стерилізація поживних середовищ***

*ДР 4.1. Приготування та стерилізація поживного середовища для стадії одержання інокуляту в колбах на качалках*

На технічних вагах зважують 1,35 г дріжджового екстракту, 0,81 г солодового екстракту, 1,35 г пептону та 2,7 г глюкози. Наважки переносять до скляної колби об'ємом 500 мл. Далі, за допомогою мірного циліндру об'ємом 500 мл доливають 270 мл води водопровідної. Колбу закривають ватно-марлевою пробкою та передають на стерилізацію в автоклаві при 115 °С, 0,05 МПа, протягом 20 хвилин.

*ДР 4.2. Приготування та стерилізація поживного середовища для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 5 л*

На технічних вагах зважують 12 г дріжджового екстракту, 7,2 г солодового екстракту, 12 г пептону та 24 г глюкози. Наважки переносять до реактора-змішувача (Р-1) об'ємом 3 л. Далі, за допомогою об'ємно-вагового дозатора (Д-2) доливають 2,2 л води водопровідної. Вмикається мішалка для повного перемішування компонентів. Одержаний розчин самоплином поступає

до інокулятора (І-3), в якому і стерилізується при 115 °С, 0,05 МПа, протягом 20 хвилин.

*ДР 4.3. Приготування та стерилізація поживного середовища для стадії одержання інокуляту в інокуляторі об'ємом 50 л*

На технічних вагах зважують 120 г дріжджового екстракту, 72 г солодового екстракту, 120 г пептону та 240 г глюкози. Наважки переносять до реактора-змішувача (Р-4) об'ємом 30 л. Далі, за допомогою об'ємно-вагового дозатора (Д-5) доливають 22 л води водопровідної. Вмикається мішалка для повного перемішування компонентів. Одержаний розчин самоплином поступає до інокулятора (І-6), в якому і стерилізується при 115 °С, 0,05 МПа, протягом 20 хвилин.

*ДР 4.4. Приготування та стерилізація поживного середовища для стадії виробничого культивування в ферментері об'ємом 500 л*

До реактора (Р-12) досипають 2,4 кг дріжджового екстракту, який відважується на ваговому дозаторі (Д-13). За допомогою об'ємно-вагового дозатора (Д-14) доливають 210,4 л води водопровідної. Вмикається мішалка для повного розчинення компонентів. Одержаний розчин за допомогою перистальтичного насоса (Н-15) поступає до ферментера (Ф-16), в якому і стерилізується при 115 °С, 0,05 МПа, протягом 20 хвилин.

## ***ТП 5. Підготовка посівного матеріалу***

### *ТП 5.1. Підтримання колекційної культури*

Культуру *S. tropicalis* Н346 С зберігають на скошеному дріжджево-солодовому агарі при 4°С. Пересів роблять кожні 1-3 місяці. Всі роботи з культурою виконують в асептичних умовах.

### *ТП 5.2. Одержання робочої культури на агаризованих середовищах*

Колекційну культуру, що зберігається в пробірках з дріжджево-солодовим агаром, розсівають голкою на чашки Петрі із дріжджево-солодовим агаром і вирощують при температурі 28 °С упродовж 48 год.

### *ТП 5.3. Вирощування посівного матеріалу в пробірках*

Отримані ізолювані колонії (від *ТП 5.2*) пересівають петлею в пробірки зі скошеним дріжджево-солодовим агаром (одна ізолювана колонія використовується для засіву однієї пробірки). Тривалість вирощування – 48 год. Засіяні пробірки ставлять у термостат з температурою 28 °С. Контроль за чистотою культури здійснюють мікроскопіюванням.

#### *ТП 5.4. Вирощування посівного матеріалу в колбах на качалках*

Поживне середовище (від ДР 4.1) перемішують і розливають по 135 мл в 2 стерильних качалочних колб об'ємом 750 мл.

У пробірку з робочою культурою *C. tropicalis* Н346 С, вирощеного на картопляно-декстрозному агарі, вносять 10 мл стерильного фізіологічного розчину, суспендують клітини (змивають культуру), стерильною піпеткою відбирають одержану дріжджову суспензію і вносять у качалочні колби з поживним середовищем. Для засіву однієї колби використовують бактеріальну суспензію, одержану з однієї пробірки.

Культивування дріжджів здійснюється у колбах на качалках. Умови культивування наступні: температура – 33 °С, частота обертання – 140 об/хв, час вирощування – 48 год. Після вирощування культуральну рідину з колб переносять у стерильну засівну колбу об'ємом 1 л.

#### *ТП 5.5. Вирощування посівного матеріалу в інокуляторі на 5 л*

Простерилізоване поживне (від ДР 4.2) середовище знаходиться в інокуляторі (І-3). В сорочку інокулятора подають холодну воду та глуху пару і контролюють значення температури поживного середовища на рівні 33 °С.

Посівний матеріал (від *ТП 5.4*) переносять в інокулятор в строго асептичних умовах. Процес культивування проводиться за наступних умов: температура – 33 °С, швидкість перемішування – 140 об/хв, час вирощування – 24 год. Через барботер подається стерильне повітря від ДР 1.7, а також відводяться відпрацьовані гази.

#### *ТП 5.6. Вирощування посівного матеріалу в інокуляторі на 50 л*

Простерилізоване поживне (від ДР 4.3) середовище знаходиться в інокуляторі (І-6). В сорочку інокулятора подають холодну воду та глуху пару і контролюють значення температури поживного середовища на рівні 33 °С.

Посівний матеріал (від ТП 5.5) переносять в інокулятор в строго асептичних умовах за допомогою труби перетискування. Процес культивування проводиться за наступних умов: температура – 33 °С, швидкість перемішування – 140 об/хв, час вирощування – 24 год. Через барботер від ДР 1.7 подається стерильне повітря, а також відводяться відпрацьовані гази.

### ***ТП 5. Біосинтез***

#### ***ТП 5.1. Виробничий біосинтез***

Простерилізоване поживне (від ДР 4.4) середовище знаходиться в ферментері (Ф-15). Асептично вносять 6-% розчин гідроксиду натрію (від ДР 2.2) для нейтралізації підкисленої меляси (до рівня рН 6,5). В сорочку ферментера подають холодну воду та глуху пару і контролюють значення температури поживного середовища на рівні 28 °С.

Посівний матеріал (від ТП 5.7) переносять у ферментер в строго асептичних умовах за допомогою труби перетискування. Процес культивування проводиться за наступних умов: температура – 28 °С, швидкість перемішування – 140 об/хв, час вирощування – 48 год. Через барботер від ДР 1.7 подається стерильне повітря, а також відводяться відпрацьовані гази.

Культивування ведуть до досягнення концентрації біомаси 9,4 г/л.

## РОЗДІЛ 7

### ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИДІЛЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ БІОМАСИ ДРІЖДЖІВ

Після завершення ферментації культуральна рідина містить близько 5 % дріжджових клітин та приблизно таку ж кількість розчинних речовин у дріжджово-вільній рідині. Дріжджові клітини, завдяки щільності приблизно 1,13 г/см<sup>3</sup>, відокремлюють від рідини за допомогою центрифуг з насадковим типом розвантаження, що дозволяє отримати суспензію дріжджів із концентрацією твердих речовин до 20 % та об'ємною часткою клітин близько 50 %. Після первинного відокремлення клітин наступним етапом є їх ретельне промивання, яке забезпечує видалення залишкових розчинних речовин і домішок. Для цього використовують водні розчини, іноді з додаванням невеликої кількості розчинів солей або буферів, що підтримують осмотичний баланс клітин і зменшують стрес дріжджів. Промита суспензія, яка ще називається «дріжджовий крем», містить близько 18–20 % твердих речовин і залишається перекачуваною (Reed, & Nagodawithana, 1991).

Для подальшого концентрування дріжджів застосовують фільтрування через пластинчастий фільтр-прес, що дозволяє підвищити вміст сухих речовин до 27–33 %. Під час цього етапу в масу іноді додають невелику кількість солі, що створює осмотичний градієнт і сприяє додатковому видаленню води з клітин, після чого сіль видаляють промиванням водою. Концентрована дріжджова маса потрапляє у стрічковий змішувач, де за потреби регулюють вологість до приблизно 70 %, а також додають харчові олії та емульгатори для полегшення екструзії та запобігання появі водяних плям на дріжджових брикетах (Reed, & Nagodawithana, 1991).

Після змішування дріжджову масу екструдують через сопла у вигляді безперервної стрічки прямокутного перерізу, яка потім автоматично нарізається

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Антоненко О.С.</i>			<i>РОЗДІЛ 7 ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИДІЛЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ БІОМАСИ ДРІЖДЖІВ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Резніченко Ю.М.</i>					50	64
<i>Реценз.</i>						<i>Кафедра БТМ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Стабніков В.П.</i>						

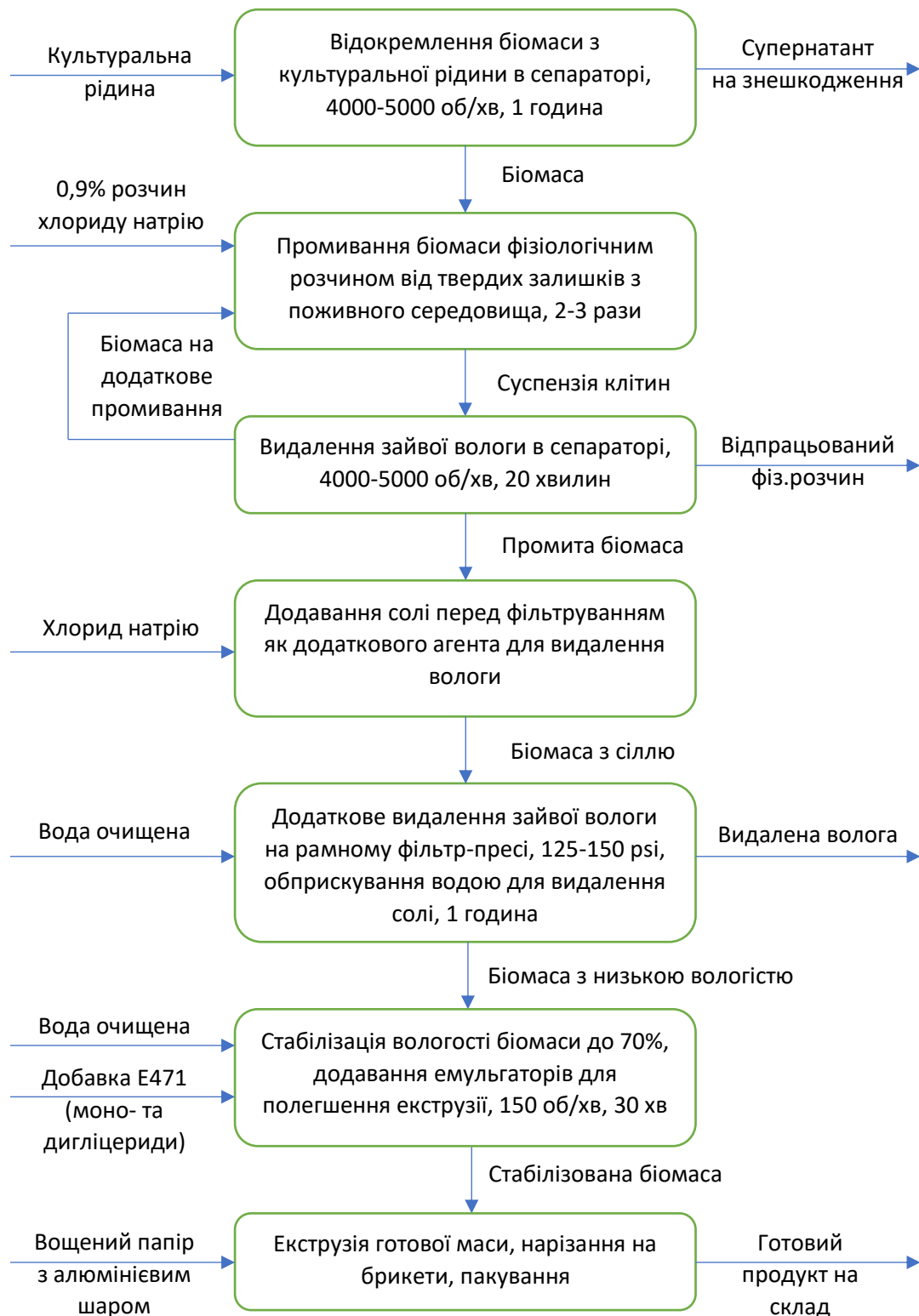


Рис.7.1. Блок-схема одержання пресованих дріжджів

на окремі брикети. Брикети упаковують у віскований папір із термосилуванням кінців та охолоджують до температури нижче 4 °С для стабілізації. Зберігання пресованих дріжджів при 3–7 °С забезпечує збереження життєздатності та ферментаційної активності протягом 3–4 тижнів. При підвищенні температури

активність дріжджів знижується швидко, що робить холодне зберігання критично важливим для підтримання якості продукту (Reed, & Nagodawithana, 1991).

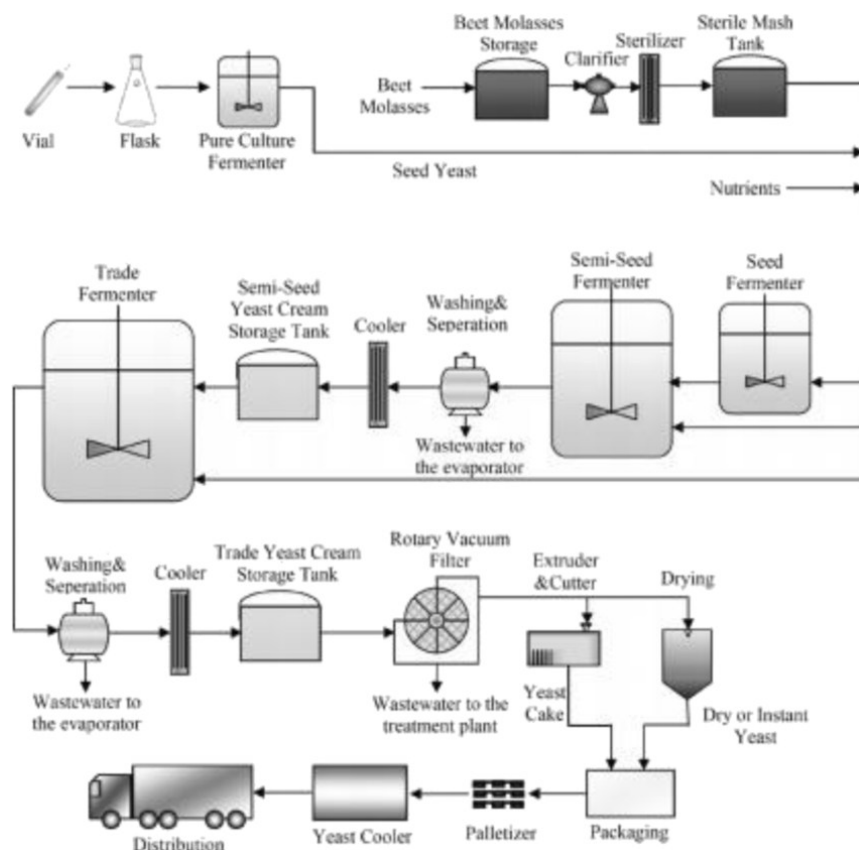


Рис.7.2. Схематичне апаратурне зображення одержання пресованих та сухих дріжджів (Igwegbe et al., 2022)



Рис.7.3. Вигляд пресованих дріжджів

(<https://bakerpedia.com/ingredients/compressed-yeast/>)

## РОЗДІЛ 8

### КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА

#### 8.1. Мікробіологічний контроль

Культивування дріжджів *S. tropicalis* здійснюють за умов суворого дотримання асептики, оскільки наявність сторонньої мікрофлори може негативно впливати як на ріст культури, так і на технологічні показники процесу. Мікробіологічний контроль є обов'язковим елементом виробничого циклу та спрямований на підтвердження стерильності поживних середовищ, чистоти інокуляту та відсутності контамінуючих мікроорганізмів у культуральній рідині на різних етапах культивування дріжджів (Красінько, Сулейко, & Удимович, 2022).

Контроль стерильності поживних середовищ проводять шляхом відбору проб об'ємом близько 50 мл з подальшим висівом на щільні поживні середовища, призначені для росту дріжджів і бактерій. Для виявлення дріжджової та грибною мікрофлори використовують сусло-агар або картопляно-декстрозний агар (PDA), а для контролю бактеріальної контамінації — м'ясо-пептонний агар. Засіяні чашки інкубують у термостаті: при температурі 28–30 °С протягом 48–72 годин для виявлення дріжджів і грибів та при 35–37 °С протягом 24–48 годин для контролю бактеріального росту. За умови дотримання стерильності видимий ріст мікроорганізмів на поживних середовищах відсутній (Красінько, Сулейко, & Удимович, 2022).

Чистоту інокуляту та культуральної рідини перевіряють шляхом поверхневого висіву 0,1 мл проби з рівномірним розподілом матеріалу по агаризованому середовищу стерильним шпателем. Для більш детального аналізу використовують метод виснажувального штриха, який дозволяє отримати ізольовані колонії та оцінити їх морфологічну однорідність. Після інкубації колонії досліджують візуально та під світловим мікроскопом при збільшенні  $\times 8$

					<i>НУХТ БТЕК 05.01.20 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РОЗДІЛ 8 КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Антоненко О.С.</i>					53	64
<i>Перевір.</i>		<i>Резніченко Ю.М.</i>				<i>Кафедра БТМ</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Стабніков В.П.</i>						

та  $\times 40$  (Красінько, Сулейко, & Удимович, 2022).

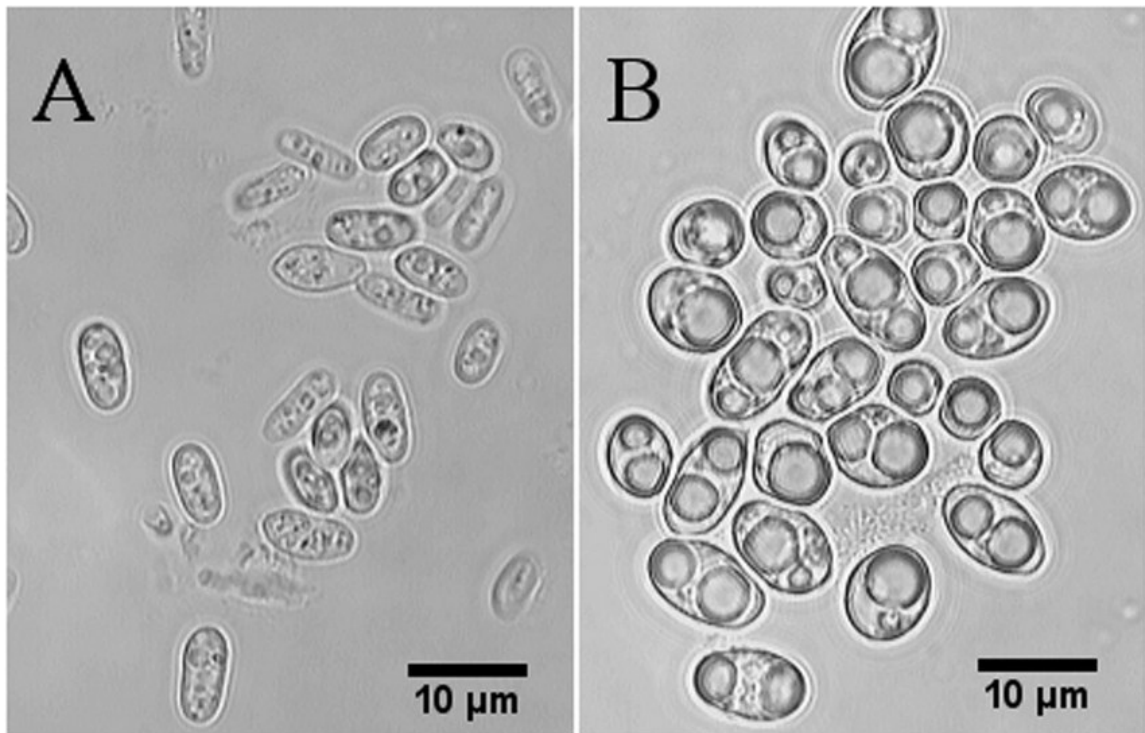


Рис.8.1. Клітини *C. tropicalis* при збільшенні 1000 х (Funk, Sieber, & Schmid, 2017)

За відсутності сторонньої мікрофлори колонії *C. tropicalis* мають однорідну морфологію, округлу або овальну форму, гладку поверхню та кремово-біле забарвлення. Мікроскопічне дослідження виявляє характерні овальні або еліпсоїдні клітини, що розмножуються брунькуванням, без утворення справжнього міцелію. Для покращення візуалізації клітин застосовують прості барвники, зокрема метиленовий синій, який дозволяє чітко відрізнити дріжджові клітини від можливих домішок бактеріального походження (<https://microbenotes.com/candida-tropicalis/>).

Для рутинного контролю використовують поживні середовища, сприятливі для росту аеробних дріжджів, зокрема PDA, середовища на основі дріжджового екстракту та пептону або синтетичні середовища з контрольованим вмістом вуглецю та азоту. Тривалість інкубації становить 2–4 доби залежно від температури та концентрації клітин у зразку. Стабільність морфологічних ознак



Рис.8.1. *C. tropicalis* на різних агарх

(<https://universe84a.com/collection/candida-tropicalis-sda/>)

і відсутність сторонніх колоній свідчать про мікробіологічну чистоту культури та можливість її подальшого використання у технологічному процесі (<https://microbenotes.com/candida-tropicalis/>).

## 8.2. Показники росту і синтезу цільового продукту

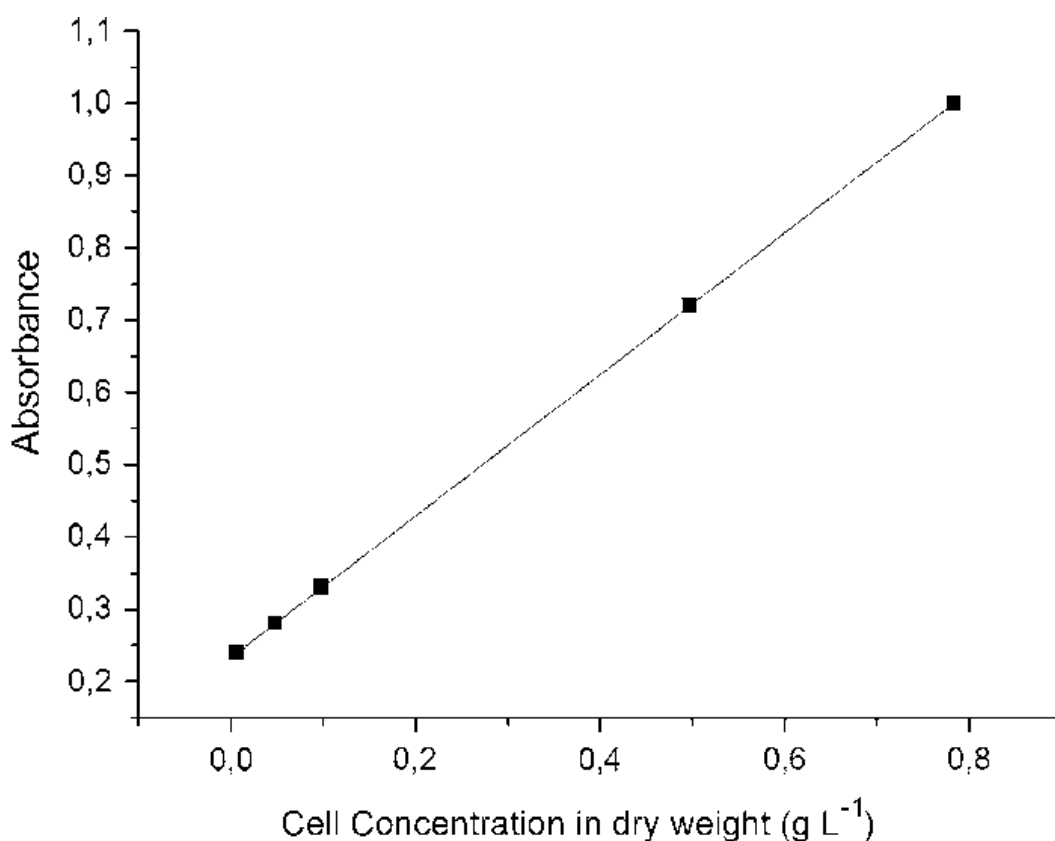
### 8.2.1. Концентрація біомаси

Контроль росту дріжджів *C. tropicalis* у процесі культивування здійснюють за показниками концентрації біомаси та кількості життєздатних клітин, які дозволяють об'єктивно оцінити інтенсивність ростових процесів і фізіологічний стан культури. Моніторинг цих параметрів проводять на різних стадіях культивування з використанням стандартних мікробіологічних і фізико-хімічних методів.

Концентрацію біомаси визначають гравіметричним методом, що ґрунтується на відокремленні клітин від культуральної рідини з подальшим висушуванням осаду до сталої маси. Для цього відбирають визначений об'єм культуральної рідини, клітини відокремлюють центрифугуванням, після чого осад промивають дистильованою водою для видалення залишків поживного середовища. Отриману біомасу висушують у сушильній шафі при температурі

105 °C до сталої маси та перераховують на г/л культуральної рідини. Цей метод дозволяє отримати точні дані щодо накопичення клітинної маси незалежно від фізіологічного стану дріжджів (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024).

Для оперативного контролю росту також застосовують фотометричний метод, який полягає у вимірюванні оптичної густини культуральної рідини при довжині хвилі 540–600 нм. Значення оптичної густини корелюють із концентрацією клітин і можуть бути використані для швидкої оцінки динаміки росту після попереднього калібрування за гравіметричними даними (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024).



*Рис. 8.3.* Приклад калібрувального графіку (Anagnostopoulos, Bekatorou, & Symeonopoulos, 2011)

### **8.2.2. Концентрація життєздатних клітин**

Кількість життєздатних клітин визначають культуральним методом шляхом висіву серійних розведень культуральної рідини на щільні поживні середовища, придатні для росту дріжджів (СА). Після інкубації при температурі 28–30 °C протягом 48–72 годин підраховують кількість колонієутворюючих

одиниць, а отримані значення перераховують на 1 мл культуральної рідини. Метод дозволяє оцінити лише клітини, здатні до розмноження, що є принципово важливим для характеристики технологічної активності дріжджової культури (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024).

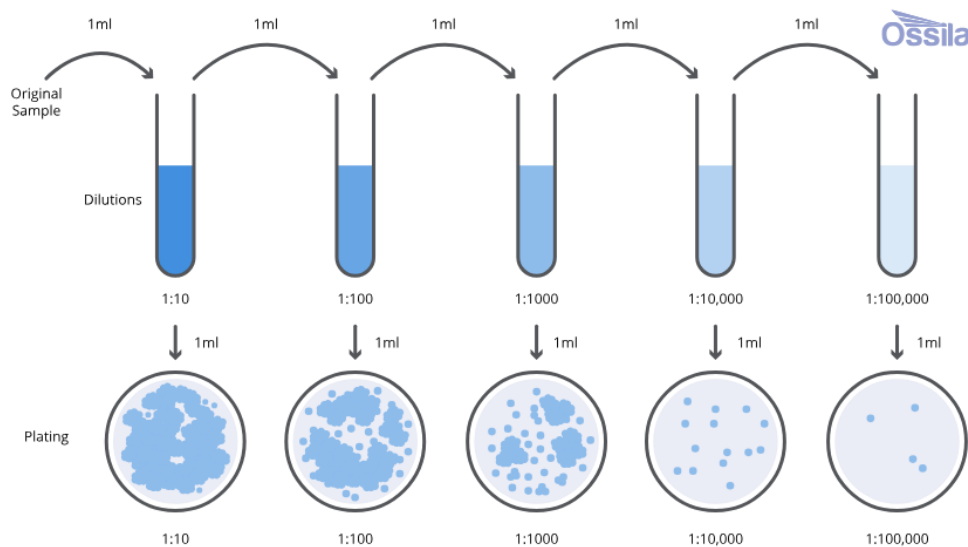


Рис.8.4. Схематичне зображення методу десятикратних розведень (<https://www.ossila.com/pages/serial-dilution>)

Додатково для оцінки життєздатності клітин можуть застосовувати мікроскопічні методи з використанням барвників, зокрема метиленового синього. Живі клітини дріжджів не накопичують барвник і залишаються безбарвними, тоді як нежиттєздатні клітини забарвлюються в синій колір. Такий підхід дозволяє швидко оцінити співвідношення живих і мертвих клітин без тривалої інкубації (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024).

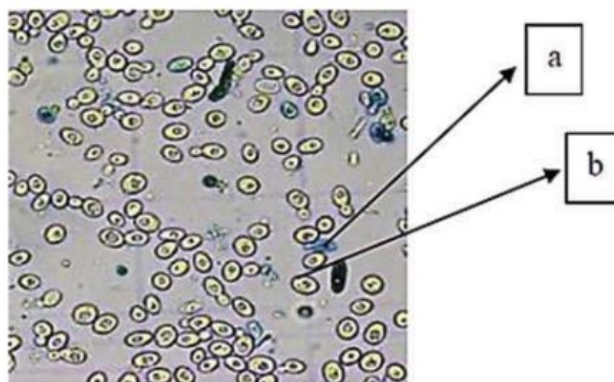


Рис.8.4. Зафарбовані клітини дріжджів в лічильній камері, а) мертві клітини, б) живі клітини (Utami, Nadiya, & Harianie, 2024)

### 8.2.3. Концентрація джерела вуглецю (меляси)

Для кількісного контролю концентрації вуглецевого субстрату (цукрів, що походять з меляси) у культуральному середовищі під час культивування *S. tropicalis* застосовують ферментативно-ензиматичний спектрофотометричний метод із використанням специфічних ферментів і вимірюванням утворення продуктів реакції за заданою довжиною хвилі. Цей підхід дозволяє оцінити залишкову концентрацію моносахаридів (глюкози, фруктози) у супернатанті після відокремлення клітин культури (<https://www.mebak.org/en/methode/b-590-16-112/glucose-enzymatic-method/3162>).

У практиці аналізу проб спочатку відбирають культуральну рідину з пробірки або ферментера та видаляють дріжджові клітини шляхом центрифугування. Отриманий супернатант, вільний від клітин, використовується для подальшого аналізу концентрації цукрів. Далі до проби додають реакційний набір ферментів, у якому гексокіназа (HK) та глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа (G6PDH) перетворюють глюкозу (та інші прості цукри після попереднього ферментативного гідролізу) у відповідні фосфорильовані форми й супроводжують цю реакцію утворенням NADPH із NADP<sup>+</sup>. Інтенсивність утворення NADPH прямо пропорційна концентрації глюкози в зразку (<https://www.mebak.org/en/methode/b-590-16-112/glucose-enzymatic-method/3162>).

Фіксація кількості NADPH здійснюється спектрофотометрично шляхом вимірювання оптичної густини при довжині хвилі 340 нм, що відповідає максимуму абсорбції NADPH у видимому спектрі. Використання саме цієї довжини хвилі дає змогу отримати високочутливі й специфічні дані про концентрацію глюкози без значного впливу інших компонентів середовища (<https://www.mebak.org/en/methode/b-590-16-112/glucose-enzymatic-method/3162>).

Перед початком вимірювань для кожної проби готують стандартні розчини глюкози відомої концентрації, що дозволяють побудувати калібрувальну криву залежності між оптичною густиною та концентрацією

цукру. Після додавання ферментного реакційного розчину проби інкубують протягом певного часу (зазвичай 10–30 хв за температури 25–37 °C), а потім здійснюють вимір абсорбції при 340 нм. За результатами вимірювань у стандартних і дослідних зразках концентрацію глюкози розраховують за калібрувальною кривою (<https://www.mebak.org/en/methode/b-590-16-112/glucose-enzymatic-method/3162>).

#### **8.2.4. Концентрація джерела азоту (дріжджового екстракту)**

Оцінка доступного джерела азоту під час культивування дріжджів є важливою для контролю якості живлення клітин і прогнозування динаміки росту культури. У сучасних біотехнологічних дослідженнях концентрацію доступних форм органічного азоту, які дріжджі можуть асимілювати (зокрема амінокислоти та короткі пептиди, що походять із дріжджового екстракту), визначають через спектрофотометричний аналіз  $\alpha$ -амінного азоту після дериватизації з о-фтальдегідом (NOPA – Nitrogen by o-Phthaldialdehyde) з використанням специфічних реагентів. У цій методиці пробу культуральної рідини після відокремлення клітин центрифугуванням піддають обробці реакційним розчином, що містить о-фтальдегід (OPA) та N-ацетил-L-цистеїн (NAC). У присутності цих реагентів первинні аміногрупи амінокислот реагують із OPA/NAC з утворенням ізоіндольних дериватів, які мають характерну абсорбцію у ближній ультрафіолетовій області спектру. Спектрофотометричне визначення концентрації амінного азоту проводять шляхом вимірювання оптичної густини при довжині хвилі приблизно 334–335 нм, що відповідає максимуму абсорбції утворених дериватів. Паралельне вимірювання на довжині хвилі ~700 нм може бути використано для компенсації ефектів фону та домішок у пробі, що підвищує точність аналізу (Muik, Edelmann, Lendl, & Ayora-Cañada, 2002).

Ця спектрофотометрична процедура є сучасною альтернативою класичним титриметричним підходам і широко застосовується в прикладних дослідженнях для контролю вільного амінного азоту (FAN) або загального асимільованого азоту (YAN) у ферментаційних середовищах, включно із середовищами з дріжджовим екстрактом. Оскільки реакція специфічна до

первинних аміногруп, метод дає кількісну оцінку амінного азоту, що є критичною складовою загального азотного статусу середовища, і корелює з вимірюваннями, отриманими за допомогою високоефективної рідинної хроматографії (HPLC) при застосуванні як еталонного методу (Muik, Edelmann, Lendl, & Ayora-Cañada, 2002).

Загальний аналітичний протокол включає відбір культуральної рідини, відділення супернатанту від клітин шляхом центрифугування, підготовку серії стандартних розчинів для калібрувальної кривої, обробку проб реагентним розчином OPA/NAC, інкубацію для завершення дериватизації, а потім вимірювання абсорбції при  $\sim 335$  нм. Отримані спектрофотометричні дані дозволяють розрахувати концентрацію доступного амінного азоту, що потребує корекції або контролю у процесі культивування (Muik, Edelmann, Lendl, & Ayora-Cañada, 2002).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Anagnostopoulos, V., Bekatorou, A., & Symeopoulos, B. (2011). Contribution to interpretation of metal uptake dependence upon the growth phase of microorganisms. The case of uranium (VI) uptake by common yeasts, cultivated at different temperatures, with or without aeration. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 287(2), 665-671. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0811-2>

Arastehfar, A., Lass-Flörl, C., Garcia-Rubio, R., Daneshnia, F., Ilkit, M., Boekhout, T., ... & Perlin, D. S. (2020). The quiet and underappreciated rise of drug-resistant invasive fungal pathogens. *Journal of Fungi*, 6(3), 138. <https://doi.org/10.3390/jof6030138>

Bordet, F., Joran, A., Klein, G., Roullier-Gall, C., & Alexandre, H. (2020). Yeast–yeast interactions: mechanisms, methodologies and impact on composition. *Microorganisms*, 8(4), 600. <https://www.mdpi.com/2076-2607/8/4/600>

Buczowski, B. K. (2013). *Sourdough bread enriched with soluble fibres: development, characterisation and nutritional aspects of a functional food product* (Doctoral dissertation, Manchester Metropolitan University).

Decock, P., & Cappelle, S. (2005). Bread technology and sourdough technology. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.012>

Dobre, A. A., Cucu, E. M., & Belc, N. (2024). Influence of technological parameters on sourdough starter obtained from different flours. *Applied Sciences*, 14(11), 4955. <https://doi.org/10.3390/app14114955>

Funk, I., Sieber, V., & Schmid, J. (2017). Effects of glucose concentration on 1, 18-cis-octadec-9-enedioic acid biotransformation efficiency and lipid body formation in *Candida tropicalis*. *Scientific reports*, 7(1), 13842. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14173-7>

Hernández-Parada, N., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Hernández-Estrada, Z. J., Figueroa-Hernández, C. Y., Figueroa-Cárdenas, J. D. D., ... & Figueroa-Espinoza, M. C. (2022). Exploiting the native microorganisms from different food matrices to formulate starter cultures for sourdough bread

production. *Microorganisms*, 11(1),

109.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms11010109>

Honchar, Y. R., Naumenko, O. V., Lukianchuk, I. V., Holub, V. O., & Marynchenko, L. V. (2024). Yeasts in sourdough: fundamental insights and their role in functional processes. *Biotechnologia Acta*, 17(3), 5-15.

<https://doi.org/10.15407/biotech17.03.005>

Igwegbe, C. A., Obiora-Okafo, I. A., Iwuozor, K. O., Ghosh, S., Kurniawan, S. B., Rangabhashiyam, S., ... & Ighalo, J. O. (2022). Treatment technologies for bakers' yeast production wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(8), 11004-11026. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17992-4>

Klupsaite, D., Starkute, V., Zokaityte, E., Cernauskas, D., Mockus, E., Kentra, E., ... & Bartkiene, E. (2023). The contribution of scalded and scalded-fermented Rye Wholemeal flour to quality parameters and acrylamide formation in semi-wheat-Rye bread. *Foods*, 12(5), 937. <https://doi.org/10.3390/foods12050937>

Koj, K., & Pejcz, E. (2023). Rye dietary fiber components upon the influence of fermentation inoculated with probiotic microorganisms. *Molecules*, 28(4), 1910. <https://doi.org/10.3390/molecules28041910>

Malik, H., Katyal, P., & Sharma, S. (2017). Biomass Yield Efficiency of Baker's Yeast Strain on Agro-Industrial Wastes and Its Utilization in Bread Making. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 6(8), 2740-2753. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.328>

Mititiuc, C., Dabija, A., & Avramia, I. (2025). Unconventional Yeast in the Bakery Industry: A Review. *Applied Sciences* (2076-3417), 15(17). <https://doi.org/10.3390/app15179732>

Muik, B., Edelmann, A., Lendl, B., & Ayora-Cañada, M. (2002). Determination of yeast assimilable nitrogen content in wine fermentations by sequential injection analysis with spectrophotometric detection. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 374(1), 167-172. <https://doi.org/10.1007/s00216-002-1418-4>

Oleinikova, Y., Amangeldi, A., Zhaksylyk, A., Saubenova, M., & Sadanov, A. (2025). Sourdough microbiota for improving bread preservation and safety: Main

directions and new strategies. *Foods*, 14(14), 2443.  
<https://doi.org/10.3390/foods14142443>

Reed, G., & Nagodawithana, T. W. (1991). Baker's yeast production. In *Yeast technology* (pp. 261-314). Dordrecht: Springer Netherlands.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-011-9771-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-011-9771-7_7)

Stępniewska, S., Cacak-Pietrzak, G., Szafrńska, A., Ostrowska-Ligeza, E., Salamon, A., & Kowalska, H. (2024). Assessment of the baking properties of rye flour based on the polysaccharide content and properties. *Applied Sciences*, 14(7), 2772.  
<https://doi.org/10.3390/app14072772>

Takaya, M., Ohwada, T., & Oda, Y. (2019). Characterization of the yeast *Hanseniaspora vineae* isolated from the wine grape 'Yamasachi' and its use for bread making. *Food science and technology Research*, 25(6), 835-842.  
<https://doi.org/10.3136/fstr.25.835>

Utami, U., Nadiya, R. A., & Harianie, L. (2024, February). The effect of molasses and yeast extract concentration on yeast growth as leavening agent for bread. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1312, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012062>

Zhai, L., Zhou, Y., Wu, Y., Jin, Y., Zhu, Q., Gao, S., ... & Tian, K. (2021). Isolation and identification of *Candida tropicalis* in sows with fatal infection: a case report. *BMC veterinary research*, 17(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02821-0>

Грищенко, А. В. (2025). Дослідження тенденцій розвитку хлібопекарської промисловості України. *Агро-світ*, 1, 77-89. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.77>

Методи контролю біотехнологічних, фармацевтичних і харчових виробництв [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до вивчення дисципліни, проведення практичних занять та виконання контрольної роботи для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр», спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньо-професійної програми «Біотехнології: фармацевтична,

промислова, харчова, природоохоронна» ден. та заоч. форм навч. / уклад. В.О.  
Красінько, Т.Л. Сулейко, В.М. Удимович, К.: НУХТ, 2022. – 45 с.