

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет медико-фармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА СОЄВИХ БІЛКІВ
ФЕРМЕНТАЦІЄЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОЛОЧНОКИСЛИХ
БАКТЕРІЙ ТА ДРІЖДЖІВ»**

Виконав: здобувач вищої освіти групи БТ622(3,10д)-01
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія
Роман СЕРВЕТНИК

Керівник: Доцент закладу вищої освіти кафедри біотехнології,
к.фарм.н, доц. Ольга КАЛЮЖНАЯ

Рецензент: Доцент закладу вищої освіти кафедри біотехнології,
біофізики та аналітичної хімії Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут», к. т. н., доц.
Наталія МАСАЛТІНА

Харків – 2026 рік

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки з використанням комбінації молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та дріжджів *Zygosaccharomyces rouxii*. Проведено аналіз сучасних підходів до ферментаційної модифікації соєвих субстратів, обґрунтовано вибір біологічних агентів та розроблено принципову технологічну схему процесу. Виконано продуктовий розрахунок та складено матеріальний баланс на промислову серію обсягом 5000 кг готового продукту. Здійснено розрахунок основного технологічного обладнання, зокрема ферментера, проведено аналіз критичних точок виробництва відповідно до вимог НАССР та оцінено екологічні аспекти технології. Розроблено рекомендації щодо поводження з відходами та викидами.

Ключові слова: ферментований соєвий білок, молочнокислі бактерії, дріжджі, ферментація, харчова добавка, НАССР, матеріальний баланс, екологічні аспекти.

ANNOTATION

The qualification work presents the development of a technology for producing fermented soy protein concentrate as a food additive using a combination of lactic acid bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* and yeast *Zygosaccharomyces rouxii*. The analysis of modern approaches to the fermentative modification of soy substrates was carried out, the choice of biological agents was justified, and a principal technological scheme of the process was developed. Product calculation and material balance for an industrial batch of 5000 kg of finished product were performed. The main technological equipment, including the fermenter, was calculated, critical control points were analyzed in accordance with HACCP requirements, and the environmental aspects of the technology were evaluated. Recommendations for waste and emission management were developed.

Keywords fermented soy protein, lactic acid bacteria, yeast, fermentation, food additive, HACCP, material balance, environmental aspects.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Аналітичний огляд.....	6
1.1 Стан галузі виробництва соєвих білків у світі та в Україні....	6
1.2 Загальна характеристика рослинних білків та методів їх отримання	9
1.3 Хімічні, фізичні, біологічні та нутрієнтні властивості соєвого білку	13
1.4 Методи виробництва соєвих білків.....	17
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	25
2.1 Характеристика готового продукту.....	25
2.2 Характеристика сировини	28
2.3 Характеристика біологічного об'єкту	33
2.4 Біосинтез цільового продукту.....	35
3 Технологічна частина.....	43
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	43
3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання	46
3.3 Опис технологічного процесу.....	51
3.4 Схеми виробництва.....	54
3.5 Критичні параметри виробництва	59
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	61
Висновок.....	65
Список використаної літератури.....	67
Додатки.....	76

					<i>162.01.07.00 000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Організація виробництва соєвих білків ферментацією із використанням молочнокислих бактерій та дріжджів Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Серветник</i>					2	76
<i>Перевірив</i>		<i>Калюжная</i>				<i>НФаУ</i>		
<i>Рецензент.</i>						<i>Кафедра біотехнології</i>		
<i>Затвердив</i>		<i>Хохленкова</i>						

ВСТУП

Сучасна харчова промисловість усе більше орієнтується на виробництво функціональних та екологічно безпечних продуктів рослинного походження. У цьому контексті соєвий білок залишається одним із найбільш затребуваних рослинних білкових інгредієнтів завдяки високому вмісту протеїну, збалансованому амінокислотному складу та широким функціональним властивостям. Однак традиційні технології отримання соєвих концентратів та ізолятів, що базуються на лужній екстракції з подальшою ізоелектричною преципітацією, мають низку суттєвих недоліків. Серед них – збереження характерного неприємного «бобового» присмаку, високий вміст антипоживних факторів (інгібітори трипсину, фітати, олігосахариди), а також значне споживання води та енергії. Ці обмеження стримують ширше використання соєвих білків у харчовій промисловості та функціональному харчуванні.

Останніми роками значну увагу дослідників привертають біотехнологічні методи модифікації соєвих субстратів, зокрема ферментація з використанням молочнокислих бактерій та дріжджів. Особливої уваги заслуговує робота Cao et al. (2023), в якій продемонстровано ефективність послідовної ферментації соєвих гідролізатів за участю *Tetragenococcus halophilus* та *Zygosaccharomyces rouxii* для покращення сенсорних характеристик продукту. Водночас питання організації промислового виробництва ферментованих соєвих білкових концентратів з використанням комбінації *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*, особливо в умовах України, залишаються недостатньо розробленими.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю розробки вітчизняної технології глибокої переробки соєвої сировини, яка б дозволила отримати продукт з покращеними нутритивними та сенсорними

									Арк.
									3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

властивостями, зменшеним вмістом антипоживних факторів та відповідає сучасним вимогам сталого розвитку. В Україні соя є стратегічною експортноорієнтованою культурою, однак переважна більшість продукції експортується у вигляді зерна або шроту, тоді як виробництво високоякісних ферментованих соєвих інгредієнтів практично відсутнє. Розробка такої технології сприятиме імпортозаміщенню функціональних білкових добавок, розвитку біотехнологічного сектору та підвищенню доданої вартості вітчизняної соєвої сировини.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технологічного рішення організації виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки з використанням комбінації молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та дріжджів *Zygosaccharomyces rouxii*.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва соєвих білків та існуючі підходи до їх ферментаційної модифікації.
2. Обґрунтувати вибір біологічних агентів та розробити принципову технологічну схему виробництва.
3. Виконати продуктовий розрахунок та скласти матеріальний баланс процесу на промислову серію.
4. Розрахувати основне технологічне обладнання, зокрема ферментер.
5. Провести аналіз критичних точок виробництва та розробити систему контролю якості відповідно до вимог НАССР.
6. Оцінити екологічні аспекти запропонованої технології та надати рекомендації щодо поводження з відходами.

Об'єктом дослідження є процес ферментаційної модифікації соєвих субстратів з використанням молочнокислих бактерій та дріжджів.

Предметом дослідження є технологічні, апаратурні та екологічні аспекти організації виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

У процесі виконання роботи були використані такі методи дослідження: аналіз і систематизація наукової літератури, метод матеріального балансу, розрахункові методи проектування біотехнологічного обладнання, методи аналізу критичних контрольних точок.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці комплексного технологічного рішення для організації виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату, яке може бути використане як основа для створення або модернізації вітчизняних біотехнологічних підприємств. Запропонована технологія дозволяє отримати продукт з підвищеною біодоступністю, покращеними сенсорними властивостями та зниженим вмістом антипоживних факторів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку функціонального харчування та принципам сталого виробництва.

Результати роботи представлені на науково-практичному заході та опубліковані в збірнику тез (Додатки).

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Стан галузі виробництва соєвих білків у світі та в Україні

Глобальний попит на рослинні білки стрімко зростає через поєднання демографічних, екологічних, етичних та медичних факторів. Населення планети перевищує 8 млрд, а за прогнозами FAO (Food and Agriculture Organization (of the United Nations), Продовольча та сільськогосподарська організація (Організації Об'єднаних Націй)) та інших організацій до 2050 року потреба в білку зросте на 50–70 % [1]. Дві доповіді FAO – «Livestock's Long Shadow» (Довга тінь тваринництва, 2006 р.) [2] та «Tackling Climate Change Through Livestock» (Боротьба зі зміною клімату через тваринництво, 2013 р.) [3] – відіграли ключову роль у дебатах щодо викидів парникових газів (ПГ) від тваринницького сектору сільського господарства. Згідно з цими доповідями тваринне виробництво є одним із найбільших джерел ПГ (до 14,5 % глобальних викидів), споживає величезні обсяги води та землі, сприяє знелісненню. Перехід на рослинні альтернативи – ключовий елемент стратегій сталого розвитку, що відображено у Green Deal ЄС [4] та цілях ООН щодо Zero Hunger (Нульовий голод) та Responsible Consumption (Відповідальне споживання) [5], до чого залучена і Україна [6, 7].

Головний виклик цілі Zero Hunger – гарантувати продовольчу безпеку для населення Землі, яке вже перевищило 8 мільярдів і стрімко зростає. Традиційне тваринництво демонструє критично низький коефіцієнт корисної дії (ККД) у трансформації рослинного корму в тваринний протеїн. Так, можна говорити про ресурсний парадокс – для отримання 1 кг білка з яловичини тварині потрібно згодувати до 10–12 кг рослинного білка. Це створює ситуацію, коли величезні посівні площі використовуються не для прямого прогодування людей, а для підтримки тваринницького сектору [8]. Рішенням цієї проблеми виступає пряме вирощування та переробка високобілкових

										Арк.
										6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ					

культур (сої, гороху, нуту, пшениці, а також новітніх джерел – водоростей та міцелію), що дозволяє радикально скоротити цей ланцюжок. Ми отримуємо чистий, біологічно цінний протеїн напряду, що дає змогу виростити в рази більше продовольства на тій самій площі землі [9]. Це фундаментальний крок до подолання дефіциту їжі у світі.

Ціль Responsible Consumption and Production вимагає від людства кардинального зменшення екологічного сліду харчової промисловості. Сучасне інтенсивне тваринництво є одним із головних деструктивних факторів для біосфери, відповідальним за майже 14,5% глобальних викидів ПГ, масове знеліснення та виснаження водних ресурсів. Заміна тваринного протеїну рослинним дозволяє вивільнити до 70–80% сільськогосподарських угідь, які зараз зайняті під пасовища та кормові культури. Це зупиняє вирубку лісів та сприяє відновленню біорізноманіття. Рослинні альтернативи потребують у десятки разів менше прісної води [10]. Наприклад, на виробництво одного гамбургера з рослинного м'яса витрачається на 90–99% менше води, ніж на аналогічний бургер із яловичини [11]. Сучасні технології переробки рослинної сировини дозволяють мінімізувати відходи, використовуючи побічні продукти (наприклад, шрот або висівки) для подальшої біотехнологічної конверсії, що повністю відповідає філософії безвідходного виробництва [12].

Соевий білок домінує на ринку рослинних білків (частка 35–48 % залежно від сегменту). Глобальний ринок рослинних білків у 2025 році оцінювався в 27,48 млрд USD з прогнозуємим зростанням до 90 млрд USD до 2034 рр. при CAGR 14,1 % [13, 14]. Соевий сегмент лідирує завдяки високому вмісту білка (36–42 % у зерні, до 90 % у ізолятах), повноцінному амінокислотному профілю (включаючи лейцин), відмінним функціональним властивостям (емульгування, гелеутворення, водо- та жирутримання) та відносно низькій собівартості [10, 14]. Соеві ізоляти, концентрати та текстуровані білки широко використовуються в м'ясних аналогах, молочних

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

альтернативах, спортивному харчуванні, функціональних продуктах, та набувають попиту серед споживачів [14].

Соя (*Glycine max*) є однією зі стратегічних олійних культур України, що відіграє важливу роль у забезпеченні експортного потенціалу країни та розвитку тваринництва. Разом із соняшником і ріпаком соя формує основу експорту зернових та олійних культур Чорноморського регіону, де Україна традиційно посідає провідні позиції завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам, значним земельним ресурсам та розвиненій логістичній інфраструктурі. За даними аналітичних звітів, Україна входить до числа ключових гравців на світовому ринку олійних, поступаючись лише таким лідерам, як Бразилія, США та Аргентина, але демонструючи високу конкурентоспроможність у регіональному вимірі завдяки географічній близькості до ринків ЄС, Близького Сходу та Азії [15].

Посівні площі під соєю в Україні демонструють стійку тенденцію до зростання протягом останнього десятиліття, хоча й зазнають коливань під впливом ринкової кон'юнктури, державної політики та наслідків повномасштабного вторгнення РФ. У 2024 році площі досягли рекордних показників (близько 2,7 млн га за деякими оцінками), а в 2025 році, за даними Державної служби статистики України (Держстат) та аналітиків АРК-Inform, засіяно приблизно 2,08–2,1 млн га (офіційна статистика), з прогнозами на рівні 2,2–2,25 млн га [16].

Валовий збір сої також демонструє значні коливання. У сприятливі роки (зокрема 2024) виробництво перевищувало 5,5–6 млн т, тоді як у 2025 році, за оцінками АРК-Inform, очікується зниження на 17 % - до 5,6–5,7 млн т порівняно з попереднім сезоном. У період 2022–2023 років на обсяги впливали наслідки війни: окупація частини територій (Донецька, Луганська, Херсонська та Запорізька області), де до 2022 року зосереджувалося до 9 % національного виробництва сої, порушення логістики через блокаду чорноморських портів, а також енергетичні обмеження, що впливали на роботу переробних

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

підприємств. Незважаючи на це, завдяки впровадженню альтернативних маршрутів експорту (зерновий коридор, дунайські порти, залізничні перевезення) та державній підтримці аграріїв виробництво поступово відновлювалося [17, 18].

Україна традиційно експортує переважно сировину (зерно сої) або продукти первинної переробки – соєву олію та шрот (для кормовиробництва). Глибока переробка - виробництво соєвих концентратів, ізолятів, текстурованих білків та ферментованих продуктів - залишається недостатньо розвиненою порівняно з потенціалом країни, частка продукції з високою доданою вартістю в експорті досі незначна, що обмежує валютні надходження та розвиток суміжних галузей (харчова промисловість, біотехнології, фармацевтика) [18]. У контексті євроінтеграції та Green Deal ЄС Україна має потенціал стати важливим постачальником не лише сировини, а й високоякісних рослинних білків, у тому числі ферментованих продуктів, що відповідає глобальним трендам на сталий розвиток та функціональні інгредієнти. Розвиток глибокої переробки, включаючи ферментацію, дозволить підвищити рентабельність галузі, зменшити залежність від експорту сировини, створити нові робочі місця та зміцнити продовольчу безпеку країни.

1.2 Загальна характеристика рослинних білків та методів їх отримання

Рослинні білки, або протеїни рослинного походження, є білковими фракціями, екстрагованими з рослинної сировини. Ці джерела можна згрупувати у зернові (наприклад, пшениця, кукурудза), їстівне насіння (наприклад, кіноа), псевдозернові (наприклад, амарант, чіа), бобові (наприклад, горох, соя), бульбоплоди (наприклад, картопля), олійні культури (наприклад, соя, ріпак, бавовник) та водорості (наприклад, мікрowodорості).

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

162.01.07.00 000 ПЗ

Зазвичай білки зосереджені в насінні цих рослин [10]. Рослинні білки виробляють шляхом процесів екстракції, концентрування та очищення.

За хімічним складом рослинні білки можна поділити на: альбуміни (водорозчинні, схильні до теплової коагуляції); глобуліни (розчинні в розведених сольових розчинах); проламіни (розчинні в 70–80% водному розчині етанолу, термостійкі); глютеліни (розчинні в розведених лугах) [19].

У найбільш часто використовуваних джерелах рослинного білка - зернобобових та олійних культурах - переважають глобуліни, на частку яких припадає 60–80% від загального вмісту білка, за ними йдуть альбуміни (10–25%). Оскільки і глобуліни, і альбуміни мають хорошу розчинність, їх можна екстрагувати традиційними методами мокрої екстракції. Перед екстракцією рослинні інгредієнти зазвичай подрібнюють для розділення основних компонентів та зменшення розміру частинок за допомогою сухого помелу (штифтового помелу або повітряної класифікації), шнекового пресування (для видалення олії), екстракції вуглеводнями (що дає знежирений шрот із вмістом білка) або мокрому помелу (очищення зерна, замочування, розділення та вилучення зародків, волокон, білків і крохмалю) [10, 20, 21].

Для виробництва білкових концентратів або ізолятів необхідна подальша екстракція. Традиційні процеси екстракції (мокре фракціонування) включають методи з використанням води, солей, розчинників, детергентів та лугів, при цьому на вихід білка впливають час екстракції, типи розчинників, рН і температура. Для підвищення ступеня вилучення білка та зниження екологічного навантаження використовують сухе та напівсухе фракціонування, зокрема мікрохвильової обробки, високого тиску, імпульсних полів, гомогенізації та ультразвуку [22]. Рослинні білки зазвичай доступні у двох формах: концентрати (50–70% білка) та ізоляти (>90% білка).

Окрім порошкових рослинних білків, шляхом термопластичної екструзії рослинних протеїнів виробляють рослинні альтернативи м'яса, які за типом продукту можна розділити на низьковологі (20–35%) та високовологі (50–

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

70%). Наразі рослинні альтернативи м'яса виготовляють переважно із сої, пшеничного глютену та гороху [23]. Це пов'язано з тим, що більшість комерціалізованих концентратів та ізолятів екстрагують із пшениці, сої, рису, гороху та нуту, які мають стабільні ланцюжки постачання та комерційну доступність. Інші джерела, такі як арахіс, ріпак, овес, рис, люпин та інші, тільки починають активно з'являтися на ринку [24, 25].

Рослинні білки, включаючи альтернативи м'яса, регулюються аналогічно до інших харчових інгредієнтів із маркуванням GRAS (Загальноновизнані безпечними). Генетично модифіковані (ГМ) культури, такі як соя, також вважаються GRAS як Управлінням з продовольства і медикаментів США (U.S. FDA), так і Європейським агентством з безпеки харчових продуктів (EFSA) спільно з Європейською комісією (ЄК) [26, 27].

Рослинні білки всебічно досліджувалися на предмет їхньої безпечності, поживної цінності та впливу на здоров'я. Однією з головних проблем безпеки рослинних білків є алергенність. Харчова алергія вражає 10% населення планети. Основними рослинними джерелами, що викликають алергію, є соя, арахіс і пшениця, проте зростає частота алергічних реакцій на інші бобові, зокрема сочевицю, горох та люпин [28, 29]. Для зниження алергенності рослинних протеїнів проводяться дослідження в різних напрямках, зокрема оброблюють високим гідростатичним тиском, модифікують білки під дією холодної атмосферної плазми, використовують ферментативну модифікацію та ферментацію [10, 30].

Загалом рослинні білки містять належну кількість незамінних амінокислот, хоча для них характерний загальний дефіцит лізину та сірковмісних амінокислот. Загалом, лише соєві білки традиційно вважаються джерелом повноцінного білка. З розвитком методів екстракції рослинного протеїну повноцінними білками також почали вважати білки гороху, оскільки вони містять усі дев'ять незамінних амінокислот [10]. Рослинні білки мають гіршу протеолітичну засвоюваність і, як наслідок, нижчу якість білка через

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ					

наявність клітковини та інших антипоживних компонентів, таких як інгібітори трипсину. Більшість антипоживних факторів зосереджена переважно у сім'ядолях та оболонках насіння бобових культур [31].

Загалом рослинні білки мають відносно низьку якість, що відображається в їхніх нижчих показниках скоригованого амінокислотного коду засвоюваності білка, за винятком концентратів/ізолятів соєвого білка, які мають цей показник на рівні 1 [32]. Водночас рослинні білки містять вищий рівень біоактивних сполук, таких як фітонутрієнти (наприклад, каротиноїди, флавоноїди, ізофлавоноїди тощо), які можуть відігравати важливу роль у профілактиці захворювань, пов'язаних із дієтою, зокрема раку [33].

Рослинні білки вважаються функціональними інгредієнтами, оскільки вони забезпечують необхідні фізико-хімічні властивості в харчових продуктах завдяки таким процесам, як розчинення, емульгування, піноутворення, гелеутворення та формування тіста. Різні джерела рослинних білків демонструють різноманітну функціональність залежно від їхнього білкового складу та структури. Проте для покращення функціональних властивостей білка можна проводити цілеспрямовані технологічні модифікації, включаючи ферментативну обробку, екструзію, обробку високим тиском, ультразвукову обробку високої потужності тощо [10, 33]. Екструзія, зокрема, дозволяє вирівняти білкові волокна і створити текстуру, схожу на м'ясо. Крім того, широко вивчалася модифікація функціональних властивостей сої за допомогою зміни рН, ультразвуку, ферментативного каталізу, імпульсних електричних полів тощо [10, 34, 35].

Попри широке використання, рослинні білки стикаються з серйозними проблемами щодо їхнього смако-ароматичного профілю. Небажані присмаки та запахи, присутні в соєвих білках, часто описують як «зелені», «бобові» та «трав'янисті», тоді як у горохових білках їх часто характеризують як «бобовий/жовтого гороху», «зеленого гороху», «фекальний», «трав'янистий», «картонний» та «сірчаний». Відповідно, специфічний профіль рослинних

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

білків та виготовлених із них продуктів залишається критичною перешкодою для їхнього визнання споживачами. Для покращення смаку під час виробництва можна додавати різні інгредієнти, такі як підсилювачі смаку та інгібітори гіркоти, або застосовувати різноманітні технологічні прийоми [10, 35-39]. Попри ці перешкоди, головними рушійними силами споживання рослинних продуктів залишаються турбота про здоров'я, морально-етичні міркування, екологічний слід та благополуччя тварин.

1.3 Хімічні, фізичні, біологічні та нутрієнтні властивості соєвого білку

Соевий білок є одним із найважливіших рослинних білків у сучасній харчовій промисловості та біотехнології завдяки своєму збалансованому хімічному складу, високим функціональним властивостям та значному нутрієнтному потенціалу. Як повноцінний білок рослинного походження, він містить усі незамінні амінокислоти в кількостях, близьких до потреб людини, що робить його цінним джерелом для виробництва функціональних продуктів харчування, м'ясних аналогів, спортивного харчування та біоактивних інгредієнтів. Хімічний склад соєвого білка визначається переважно двома основними фракціями глобулінів – 7S (β -конгліцинін) та 11S (гліцинін), які становлять 70–90 % загального білка сої. β -Конгліцинін (7S) є тримерним глікопротеїном з молекулярною масою близько 150–180 кДа, тоді як гліцинін (11S) – гексамер з масою приблизно 300–380 кДа. Ці фракції відрізняються за амінокислотним складом, функціональністю та алергенним потенціалом: 11S зазвичай багатший на сірковмісні амінокислоти, а 7S – на вуглеводні залишки. Соевий білок також містить менші фракції (2S альбуміни та 15S), а в складі сої присутні супутні сполуки – ізофлавоїни, сапоніни та фенольні речовини, які впливають на біологічну активність продуктів. Амінокислотний профіль соєвого білка характеризується високим вмістом лізину (близько 6,4 г/100 г

									162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						13

білка), що компенсує дефіцит цієї амінокислоти в зернових культурах, однак відносно низьким рівнем метіоніну та цистеїну [40, 41].

Для оцінки якості, повноцінності та біологічної цінності білків використовують показники Скориюваний амінокислотний коефіцієнт (код) засвоюваності білка – PDCAAS, Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score та Коефіцієнт (індекс) засвоюваності незамінних амінокислот – DIAAS, Digestible Indispensable Amino Acid Score. Метод PDCAAS оцінки якості білка, який був рекомендований FAO та BOOЗ у 1991 році, визначає якість білка на основі двох факторів: амінокислотного складу (вмісту незамінних амінокислот у продукті порівняно з еталонним профілем, необхідним для людини) та засвоюваності (істинного перетравлення) білка в усьому травному тракті. Максимальне значення за цією шкалою становить 1,0 (або 100%). Значення 1,0 означає, що після перетравлення цей білок забезпечує організм людини 100% (або більше) необхідних незамінних амінокислот на одиницю протеїну. Соевий ізолят, казеїн, ячний білок та молочна сироватка мають показник PDCAAS, який дорівнює або максимально наближений до 1,0. DIAAS - сучасніший, точніший та суворіший метод оцінки якості білка, впроваджений FAO у 2013 році на заміну PDCAAS. На відміну від PDCAAS, який оцінює перетравність білка на основі аналізу фекалій (де кінцевий результат спотворюється життєдіяльністю мікрофлори товстого кишечника), DIAAS вимірює засвоюваність кожної окремої незамінної амінокислоти наприкінці клубової кишки. Саме там завершується всмоктування білків безпосередньо організмом людини. За шкалою DIAAS білки класифікують так: > 1,0 (або >100%) - білок відмінної (найвищої) якості; 0,75 – 1,0 (75–100%) - білок хорошої якості (соевий ізолят зазвичай потрапляє в цю категорію або перебуває на межі високої якості - близько 0,90–0,97); < 0,75 (<75%) - білок низької якості, у якому бракує певних лімітуючих амінокислот (більшість інших рослинних білків без додаткового очищення чи комбінування) [40].

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Фізичні та функціональні властивості соєвого білка значною мірою залежать від його структури та умов середовища. Розчинність соєвих білків є рН-залежною – мінімальна в ізоелектричній точці (рН близько 4,5), де молекули агрегують, та максимальною за лужних або кислих значень рН. Це визначає технологічні можливості використання ізолятів та концентратів у напоях, емульсіях та гелях. Соєвий білок демонструє високі емульгуючі властивості завдяки поверхневій активності гідрофобних та гідрофільних ділянок молекул, здатність до гелеутворення при термічній обробці (завдяки дисульфідним зв'язкам та гідрофобним взаємодіям між субодинацями 11S та 7S), а також відмінні водо- та жирутримуючі властивості. Ці характеристики роблять соєвий білок незамінним у виробництві текстурованих продуктів, соусів, ковбасних виробів рослинного походження та функціональних напоїв. Однак традиційні методи отримання ізолятів часто призводять до часткової денатурації та зниження розчинності, а характерний смак обмежує органолептичну привабливість. Сучасні дослідження показують, що фізичні властивості можна суттєво покращити за допомогою фізичних (ультразвук, високий тиск), хімічних або біотехнологічних методів обробки [42, 43].

Біологічні та нутрієнтні властивості соєвого білка визначають його цінність як функціонального інгредієнта. Висока біологічна цінність забезпечується доброю перетравністю (після належної термічної обробки або ферментації) та здатністю до утворення біоактивних пептидів при гідролізі або мікробній ферментації [34, 35, 44]. Ці пептиди проявляють широкий спектр фізіологічної активності: антигіпертензивну (інгібування АПФ), антиоксидантну, протизапальну, антидіабетичну, імуномодулюючу та протипухлинну дію. Соєвий білок та його похідні позитивно впливають на ліпідний профіль крові (зниження ЛПНЩ), підтримку серцево-судинної системи, кісткової тканини та гормонального балансу, що пов'язано як з самим білком, так і з присутніми ізофлавонами [40, 41]. Водночас соя належить до основних харчових алергенів [28, 29]. Головними алергенними компонентами

					<i>162.01.07.00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

є саме 7S- (Gly m 5, β -конгліцинін) та 11S-глобуліни (Gly m 6, гліцинін), які можуть викликати IgE-опосередковані реакції різного ступеня тяжкості. Антипоживні фактори (інгібітори трипсину, фітати, олігосахариди) знижують біодоступність мінералів та засвоєння білка, що частково компенсується сучасними методами переробки [45].

Особливої уваги заслуговує вплив біотехнологічної переробки, зокрема ферментації, на властивості соєвого білка. Молочнокисла ферментація та комбіновані культури з дріжджами сприяють частковому протеолізу глобулінів, що підвищує розчинність, покращує перетравність та генерує нові біоактивні пептиди. Одночасно знижується вміст антипоживних факторів (активність інгібіторів трипсину зменшується на 50–90 %, олігосахариди розщеплюються α -галактозидазою), що підвищує нутрієнтну цінність та зменшує ризик метеоризму [44-51]. Ферментація також суттєво покращує сенсорні властивості, так у роботах Cao et al. (2023) показано, що послідовна інокуляція ферментативних соєвих гідролізатів *Tetragenococcus halophilus* та *Zygosaccharomyces rouxii* значно знижує вміст альдегідів та кетонів (носіїв бобового та жирного присмаку) і збільшує концентрацію приємних естерів, спиртів та органічних кислот, роблячи продукт більш прийнятним для споживачів. Такі зміни безпосередньо впливають на біологічну доступність та функціональну цінність кінцевого продукту [47, 48].

Таким чином, у контексті сучасних тенденцій рослинного харчування та сталого розвитку соєвий білок розглядається як стратегічна сировина для створення функціональних та нутріцевтичних продуктів. Його хімічна стабільність, здатність до модифікації функціональних властивостей та потенціал генерації біоактивних сполук роблять його ідеальним об'єктом для біотехнологічних інновацій. Водночас традиційні методи переробки не завжди повністю реалізують цей потенціал через збереження антипоживних речовин, алергенів та небажаних сенсорних характеристик. Саме тому ферментаційні технології з використанням молочнокислих бактерій та дріжджів, що

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

поєднують покращення нутрієнтних, функціональних та органолептичних показників, набувають особливої актуальності для організації сучасного виробництва соєвих білків.

1.4 Методи виробництва соєвих білків

Виробництво соєвих білків традиційно базується на фізичних, хімічних та ферментативних методах переробки соєвого борошна або шроту, які забезпечують отримання продуктів з високим вмістом білка, але часто супроводжуються низкою технологічних та якісних обмежень. Основою більшості процесів є знежирене соєве борошно, отримане шляхом екстракції олії з соєвих зерен. Соєві концентрати (65–72 % білка) виробляють шляхом промивки борошна кислотою або спиртом, що дозволяє видалити частину вуглеводів та антипоживних факторів (АНФ). Соєві ізоляти (≥ 90 % білка) отримують за класичною схемою: лужна екстракція за рН 8–9, ізоелектрична преципітація при рН близько 4,5, промивка та сушіння. Ці продукти характеризуються високою функціональністю (емульгуючі, гелеутворюючі та водоутримуючі властивості), що робить їх затребуваними в м'ясних аналогах, молочних альтернативах та спортивному харчуванні. Однак традиційні методи мають суттєві недоліки: високе споживання води та енергії, утворення значних обсягів стічних вод, збереження або навіть концентрація певних антипоживних речовин (інгібітори трипсину, фітати, олігосахариди), алергенів (7S- та 11S-глобуліни) та характерного профілю смаку, зумовленого леткими альдегідами (зокрема гексаналем) від окислення ліпідів під дією ліпоксигенази. Текстуровані соєві білки отримують шляхом екструзії борошна або концентратів для створення м'ясоподібної текстури, а гідролізати - через кислотний, лужний або ферментативний (протеази) гідроліз до пептидів, що покращує розчинність і засвоєння, але може посилювати гіркоту та небажані смаки [34, 35].

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

На тлі цих обмежень дедалі більшої уваги набувають ферментаційні методи як біотехнологічний підхід, за якого мікроорганізми або їхні ферменти модифікують соєвий субстрат, часто в комбінації з попереднім ферментативним гідролізом. У технології виробництва соєвих білків ферментаційними методами застосовують два основні підходи - твердофазну ферментацію та занурену (рідинну) ферментацію. Твердофазна ферментація на соєвому шроті або борошні є відносно простою та економічною технологією, придатною переважно для кормовиробництва; субстрат зволожують до 40–60 % вологості, інокують стартерними культурами та ферментують у лотках або спеціалізованих біореакторах з контрольованою температурою та аерацією. Рідинна ферментація на соєвому молоці, гідролізатах або екстрактах забезпечує кращий контроль параметрів процесу та більше підходить для отримання харчових інгредієнтів і функціональних продуктів; вона проводиться в біореакторах з перемішуванням. Гібридні або двостадійні схеми, що поєднують ферментативний гідроліз з подальшою мікробною ферментацією, демонструють високу ефективність. Яскравим прикладом є робота Cao et al. (2023), в якій ферментативні соєві гідролізати послідовно інокулювали галофільною молочнокислою бактерією *Tetragenococcus halophilus* та осмофільними дріжджами *Zygosaccharomyces rouxii*. Такий підхід дозволив суттєво покращити ароматичний профіль продукту: значно знизився вміст альдегідів та кетонів (основних носіїв жирного та бобового присмаку), натомість зросла концентрація спиртів, органічних кислот та естерів, що надало карамельних, фруктових та винних нот. Послідовна інокуляція виявилася ефективнішою за одночасну, що підкреслює важливість оптимізації процесу для промислового застосування.

Переваги ферментації є комплексними та підтверджуються численними сучасними дослідженнями. Біологічна деградація антипоживних речовин досягає високого рівня: активність інгібіторів трипсину знижується на 50–90 % і більше залежно від штаму та умов, фітати деградують за наявності фітази,

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

а олігосахариди рафінової родини розщеплюються α -галактозидазою молочнокислих бактерій. Частковий протеоліз макромолекулярних глобулінів (7S та 11S) призводить до підвищення перетравності на 10–30 %, зниження антигенності та утворення біоактивних пептидів з антигіпертензивною, антиоксидантною та імуномодулюючою дією. Додатково ферментація генерує органічні кислоти, вітаміни групи В, антиоксиданти та сприяє покращенню смаку й аромату. Процес часто характеризується нижчим екологічним слідом порівняно з традиційними методами та відкриває можливості створення пробіотичних або синбіотичних продуктів. Сучасні огляди щодо впливу молочнокислої ферментації на білки бобових та щодо мікробіології соєвої ферментації, підтверджують ефективність цих підходів для покращення нутритивних, функціональних та сенсорних властивостей соєвих продуктів [36, 38, 39, 46-51].

Разом з тим ферментаційні технології мають і певні виклики. Процес характеризується варіабельністю, що вимагає використання надійних стартерних культур; існує ризик накопичення біогенних амінів, тому необхідний суворий контроль штамів; потрібна оптимізація параметрів (температура 28–37 °С, тривалість 24–72 год або довше, інокулом 10^6 – 10^8 КУО/г або мл). Після ферментації зазвичай потрібне сушіння для забезпечення мікробіологічної стабільності та збереження функціональних властивостей.

Ключову роль у ферментаційних процесах відіграють молочнокислі бактерії (МКБ) та дріжджі. Серед МКБ найпоширенішим є *Lactiplantibacillus plantarum*, що продукує потужну α -галактозидазу для деградації рафінози, протеази та пептидази для протеолізу, знижує рН середовища та покращує як перетравність, так і органолептику. Інші ефективні штами включають *L. acidophilus*, *L. casei/paracasei*, *L. sakei*, *L. salivarius*, *Pediococcus pentosaceus/acidilactici* та *Enterococcus faecium* [52-56]. У роботі Cao et al. (2023) успішно застосовано галофільну *Tetragenococcus halophilus*, ефективну саме для гідролізатів. Механізми дії МКБ охоплюють лактатацидогенез

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ					

(зниження рН забезпечує консервацію, активацію власних ферментів та пригнічення патогенів), протеоліз 7S/11S-глобулінів до біодоступних пептидів та амінокислот, специфічну деградацію антипоживних речовин та синтез антимікробних сполук.

Дріжджі доповнюють дію МКБ. *Saccharomyces cerevisiae* формує ароматичні сполуки (вищі спирти, естери), здійснює частковий протеоліз, синтезує вітаміни та створює синергію з бактеріями через споживання кисню та цукрів; *Zygosaccharomyces rouxii* є осмофільною та галофільною, ключовою для традиційних соєвих соусів і паст; вона генерує приємні леткі сполуки та ефективно маскує або знижує смаки. Інші перспективні дріжджі - *Candida spp.* та *Pichia kudriavzevii* [49, 50].

Змішані культури МКБ + дріжджі часто дають оптимальний результат завдяки синергії (МКБ підкислює середовище, дріжджі формують аромат), як це показано в роботі Cao et al. (2023), де послідовна інокуляція була ефективнішою [46-48].

Для промислового впровадження штами відбирають за суворими критеріями: статус GRAS/QPS (EFSA), висока активність цільових ферментів (протеази, α -галактозидаза, фітатаза), толерантність до умов процесу (кислотність, осмотичний тиск, сіль), мінімальна продукція біогенних амінів, загальна безпечність та позитивний вплив на сенсорику й нутритивну цінність.

Таким чином, виробництво соєвих білків ферментацією з участю молочнокислих бактерій та дріжджів є перспективним напрямом, що поєднує покращення нутритивних властивостей, сенсорних характеристик та принципів сталого розвитку. У глобальному контексті це повністю відповідає сучасним трендам здорового харчування. Для України, де соя є стратегічною експортноорієнтованою культурою з високим потенціалом глибокої переробки, впровадження таких технологій сприятиме імпортозаміщенню високоякісних білкових інгредієнтів, розвитку біотехнологічного сектору, підвищенню доданої вартості продукції та зміцненню продовольчої безпеки.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Для вітчизняного виробництва обрана комбінація *Lactiplantibacillus plantarum* (до 2020 року *Lactobacillus plantarum* [57]) + *Zygosaccharomyces rouxii*. *L. plantarum* - найефективніший і найуніверсальніший штам для соєвих продуктів. Він активно продукує α -галактозидазу, протеази та пептидази (протеоліз 7S/11S глобулінів), молочну кислоту (швидке зниження рН). Це призводить до значного зниження антипоживних факторів, підвищення перетравності білка та покращення органолептики. *Z. rouxii* забезпечує формування приємного аромату (естери, спирти), маскує та знижує бобовий присмак та створює синергію з МКБ. Виробництво соєвих білків ферментацією обраною комбінацією може бути успішно реалізована як на вже діючих підприємствах, так і в рамках створення нових спеціалізованих виробництв.

Існуючі олійно-екстракційні заводи, які мають потужності з переробки сої, є найбільш логічними майданчиками для впровадження ферментаційної технології. Ці підприємства вже володіють необхідною сировинною базою (соєвий шрот або борошно), логістичною інфраструктурою та досвідом роботи з соєвою сировиною. Додавання ферментаційного етапу дозволить їм перейти від виробництва базових продуктів (олія та шрот) до випуску продукції з високою доданою вартістю – ферментованих соєвих концентратів, ізолятів або текстурованих білків. Комбікормові заводи також мають значний потенціал для реалізації такої технології, особливо в частині виробництва ферментованого соєвого шроту для тваринництва, де комбінація МКБ та дріжджів забезпечує зниження вмісту інгібіторів трипсину та олігосахаридів, підвищення біологічної цінності корму та покращення його смакових властивостей. Крім того, окремі харчові та біотехнологічні підприємства, які вже займаються виробництвом гідролізатів, функціональних інгредієнтів або продуктів на основі рослинних білків та продуктів мікробного синтезу, можуть інтегрувати ферментацію з використанням зазначеної комбінації для

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

отримання продуктів з покращеними сенсорними та нутритивними характеристиками.

При проектуванні нового спеціалізованого підприємства з виробництва соєвих білків ферментаційним методом висувається низка вимог, які охоплюють технологічний, регуляторний, санітарно-гігієнічний та кадровий аспекти. Технологічно підприємство повинно бути оснащене обладнанням для проведення твердофазної або рідинної ферментації, що включає біореактори з системами контролю температури, рН, аерації та перемішування, а також сушильні установки для стабілізації готового продукту. Особливої уваги потребує організація чистої зони для роботи з живими мікроорганізмами. Регуляторні вимоги залежать від цільового призначення продукції: для виробництва кормових інгредієнтів підприємство повинно відповідати вимогам законодавства у сфері кормовиробництва та мати впроваджену систему НАССР, тоді як для харчових продуктів та нутріцевтиків необхідне дотримання вимог GMP, ISO 22000 та, за можливості, стандартів ЄС. Екологічні вимоги передбачають наявність ефективних систем очищення стічних вод та утилізації відходів ферментації, оскільки процес супроводжується утворенням відходів. Кадровий склад повинен включати кваліфікованих мікробіологів, технологів ферментації та спеціалістів з контролю якості, здатних забезпечити стабільність процесу та відповідність продукції встановленим показникам. Крім того, при проектуванні нового підприємства важливо враховувати логістичний фактор - оптимальним є розміщення виробництва в регіонах з високим рівнем вирощування сої (Полтавська, Хмельницька, Вінницька, Черкаська області), що дозволить мінімізувати транспортні витрати на доставку сировини.

Одним з перспективних вітчизняних майданчиків для реалізації проекту з виробництва ферментованого соєвого білкового концентрат є ТОВ «Ензим» (Enzym Group), засноване у 1970 році в місті Ладжин Вінницької області. Компанія спеціалізується на промисловому виробництві ферментних

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

162.01.07.00 000 ПЗ

препаратів шляхом мікробіологічного синтезу. Підприємство має значний досвід у культивуванні мікроорганізмів (бактерій та дріжджів) у промислових біореакторах, що є ключовою компетенцією для організації ферментаційного виробництва соєвих білків.

Основними напрямками діяльності компанії є виробництво ферментів для харчової промисловості, кормовиробництва, сільського господарства та технічних цілей. У портфелі компанії представлені такі ферменти, як α -амілази, глюкоамілази, протеази, ліпази, пектинази, β -глюканази та трансглютаміназа. Наявність власних виробничих потужностей з мікробної ферментації дозволяє «Ензиму» самостійно вирощувати мікроорганізми-продуценти та отримувати ферментні препарати високої якості. У рамках напрямку Food Solutions компанія активно розвиває сегмент харчових інгредієнтів на основі дріжджів. Зокрема, підприємство виробляє дріжджові екстракти та неактивні дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*), які використовуються для покращення смакових властивостей, аромату та функціональності харчових продуктів, у тому числі рослинного походження. Цей досвід є особливо цінним при впровадженні технології ферментації соєвого білка з використанням дріжджів.

З огляду на профіль діяльності ТОВ «Ензим», підприємство має низку конкурентних переваг для організації виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки: наявність промислових біореакторів та налагодженої технології мікробної ферментації, що дозволяє культивувати мікроорганізми; досвід роботи з харчовими інгредієнтами та розуміння вимог до якості продукції для харчової промисловості; наявність власних ферментних препаратів (зокрема протеаз), які можуть бути використані на етапі попереднього гідролізу соєвого субстрату перед мікробною ферментацією; розташування у Вінницькій області – регіоні з розвиненим виробництвом сої, що забезпечує доступ до сировини та знижує логістичні витрати.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Разом з тим, для повноцінного запуску виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату підприємству «Ензим» необхідно буде розширити існуючі потужності, зокрема, потрібне впровадження лінії підготовки соєвого субстрату (подрібнення, зволоження, попередній ферментативний гідроліз).

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

У роботі розглядається виробництво ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки (функціонального харчового інгредієнта) рослинного походження. Продукт отримує умовну назву «Ферментований соєвий білковий концентрат». Виробництво планується здійснювати з використанням комбінації штамів *L. plantarum* та *Z. rouxii*.

Оскільки продукт є розроблюваним, його виробництво та обіг на території України будуть здійснюватися відповідно до Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» та Технічного регламенту щодо маркування харчових продуктів. Основним нормативно-технічним документом, що регулюватиме виробництво, стануть Технічні умови України (ТУ У), які розробляються та затверджуються підприємством-виробником у встановленому порядку. Додатково контроль якості продукції здійснюватиметься за методиками, гармонізованими з міжнародними стандартами (ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT)). У разі позиціонування продукту як нової харчової добавки його безпеність підлягатиме оцінці відповідно до процедури, передбаченої для нових харчових інгредієнтів.

Упаковка та маркування продукту повинні відповідати вимогам Технічного регламенту щодо маркування харчових продуктів. Ферментований соєвий білковий концентрат передбачається фасувати в багатошарові паперові мішки з поліетиленовим вкладишем місткістю 5-10 кг або в полімерну упаковку для харчових продуктів. Маркування повинно містити повну назву продукту, інформацію про виробника, масу нетто, дату виготовлення та термін

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

придатності, умови зберігання, харчову цінність (вміст білка, жиру, вуглеводів), а також попередження про наявність алергену (соя).

За зовнішнім виглядом продукт являє собою однорідний порошок світло-жовтого або кремового кольору без видимих сторонніх домішок і грудок. Органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості ферментованого соєвого білкового концентрату наведено в табл. 2.1–2.3.

Таблиця 2.1

Органолептичні показники ферментованого соєвого білкового концентрату

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Порошок без грудок і сторонніх домішок
Колір	Світло-жовтий або кремовий
Запах	Специфічний, властивий ферментованій сої, без сторонніх запахів
Смак	Нейтральний або з легкою кислинкою

Таблиця 2.2

Фізико-хімічні показники ферментованого соєвого білкового концентрату

Показник	Норма	Метод контролю
Масова частка вологи, %, не більше	8,0	ДСТУ ISO 6496
Масова частка сирого протеїну, %, не менше	65,0	ДСТУ ISO 5983-1
Масова частка жиру, %, не більше	2,0	ДСТУ ISO 6492
Масова частка сирогої клітковини, %, не більше	5,0	ДСТУ ISO 6865
Активність інгібіторів трипсину, мг/г, не більше	2,0	Методика ДФУ / АОАС
pH 10%-ного водного екстракту	4,5–6,0	Потенціометричний

Мікробіологічні показники ферментованого соєвого білкового
концентрату

Показник	Норма	Метод контролю
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО/г, не більше	1×10^5	ДСТУ ISO 4833
Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), в 1 г	Не допускаються	ДСТУ ISO 4832
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. сальмонели, в 25 г	Не допускаються	ДСТУ ISO 6579
Дріжджі (сторонні) та плісняві гриби, КУО/г, не більше	1×10^2	ДСТУ ISO 21527

Біологічними агентами, що використовуються у процесі ферментації, є штами *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*. Дані мікроорганізми віднесені до категорії GRAS (Generally Recognized As Safe) та мають статус QPS (Qualified Presumption of Safety) згідно з оцінкою EFSA.

Основним призначенням розроблюваного продукту є використання як функціонального білкового інгредієнта у виробництві харчових продуктів (м'ясні аналоги, хлібобулочні вироби, спортивне харчування, функціональні напої) та як високоякісної білкової добавки у комбікормовій промисловості. Завдяки ферментації продукт характеризується підвищеною біодоступністю амінокислот, зниженим вмістом антипоживних факторів та покращеними сенсорними властивостями порівняно з традиційними соєвими концентратам.

Зберігання та транспортування ферментованого соєвого білкового концентрату повинні здійснюватися в сухих, чистих, добре провітрюваних приміщеннях, захищених від прямого сонячного світла. Рекомендована температура зберігання – не вище 25 °С при відносній вологості повітря не більше 75 %. Термін придатності продукту при дотриманні умов зберігання

									162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						27

становить 12 місяців з дати виготовлення. Не допускається зберігання продукту разом з речовинами, що мають різкий запах, а також у приміщеннях з підвищеною вологістю. При транспортуванні необхідно забезпечити захист упаковки від механічних пошкоджень та впливу атмосферних опадів.

Виробництво ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки повинно здійснюватися з дотриманням вимог Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», Технічного регламенту щодо маркування харчових продуктів, а також системи управління безпечністю харчових продуктів за принципами НАССР (ДСТУ ISO 22000). Підприємство-виробник зобов'язане забезпечити простежуваність продукції, проводити вхідний контроль сировини та вихідний контроль готового продукту, а також здійснювати моніторинг критичних контрольних точок технологічного процесу. У разі впровадження продукту як нової харчової добавки його безпечність підлягає оцінці відповідно до процедури, встановленої законодавством України для нових харчових інгредієнтів.

2.2 Характеристика сировини

2.2.1 Характеристика середовищ для вирощування мікроорганізмів

Для виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату з використанням комбінації *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii* пропонується використовувати два типи середовищ: інокуляційні середовища – для нарощування біомаси чистих культур перед внесенням у основний субстрат; ферментаційне середовище – безпосередньо соєвий субстрат, на якому відбувається основна ферментація.

Середовища для нарощування інокулюму *Lactiplantibacillus plantarum* – MRS-середовище (для операцій підготовки посівного матеріалу у виробничій

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

лабораторії та інокуляторів):

Компонент	Концентрація, г/л	Призначення
Пептон	10,0	Джерело азоту
М'ясний екстракт	10,0	Джерело азоту та вітамінів
Дріжджовий екстракт	5,0	Джерело вітамінів та факторів росту
Глюкоза	20,0	Джерело вуглецю
Твін-80	1,0	Емульгатор, фактор росту
Дигідрофосфат калію (K_2HPO_4)	2,0	Буферна система
Ацетат натрію	5,0	Буфер, фактор росту
Цитрат триамонію	2,0	Буферна система
Сульфат магнію ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0,2	Мінеральне живлення, фактор росту
Сульфат марганцю ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	0,05	Мінеральне живлення, фактор росту
Дистильована вода	до 1 л	Розчинник
pH	6,2–6,6	

Середовище для нарощування інокулюму *Zygosaccharomyces rouxii* – модифіковане YPD-середовище (для операцій підготовки посівного матеріалу у виробничій лабораторії та інокуляторів):

Компонент	Концентрація, г/л	Призначення
Глюкоза	20,0	Джерело вуглецю
Пептон	20,0	Джерело азоту
Дріжджовий екстракт	10,0	Вітаміни та амінокислоти
K_2HPO_4	2,0	Буфер
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5	Мінеральне живлення
NaCl	2,0	Для підвищення осмотичного тиску
Вода	до 1 л	Розчинник
pH	5,5–6,0	

Основне ферментаційне середовище - соєвий субстрат:

Компонент	Концентрація, г/л	Призначення
Гідролізований соєвий субстрат	900	Основне джерело азоту та вуглецю
Глюкоза	13	Джерело вуглецю
Дріжджовий екстракт	6	Вітаміни та фактори росту
K_2HPO_4	2,0	Буфер
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5	Мінеральне живлення
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,05	Мінеральне живлення
Вода	до 1 л	
pH	6,0–6,5	

Гідролізований соєвий субстрат є основою середовища. Він містить уже

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

частково розщеплені білки, що полегшує роботу мікроорганізмів. Використання попереднього ферментативного гідролізу дозволяє підвищити ефективність ферментації. Глюкоза додається в помірній кількості для забезпечення швидкого старту росту *Lactiplantibacillus plantarum* на початковому етапі, коли доступних вуглеводів у шроті може бути недостатньо. Дріжджовий екстракт є джерелом вітамінів групи В, амінокислот та інших факторів росту, необхідних для нормального розвитку як молочнокислих бактерій, так і дріжджів.

2.2.2 Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів

У технології виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки використовується сировина, матеріали та напівпродукти, що відповідають вимогам чинних нормативних документів. Вхідний контроль сировини та матеріалів здійснюється відповідно до затверджених технічних умов або сертифікатів підприємств-виробників та методик контролю якості.

Таблиця 2.4

Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів

Найменування	Категорія та номер НТД	Показники НТД, обов'язкові для перевірки	Примітка
1. Основна сировина			
Соєвий шрот	ДСТУ 4593:2006 або ТУ У підприємства	Вологість, масова частка протеїну, активність інгібіторів трипсину, вміст жиру	Основний субстрат для ферментативного гідролізу та ферментації
Глюкоза кристалічна	ДСТУ 4464:2005	Масова частка сухих речовин,	Джерело вуглецю в інокуляційних та

		чистота	ферментаційному середовищах
Дріжджовий екстракт	ТУ У підприємства	Вміст азоту, вологість, мікробіологічні показники	Джерело вітамінів та факторів росту мікроорганізмів
Протеолітичний ферментний препарат	ТУ У підприємства	Протеолітична активність, мікробіологічна чистота	Використовується для попереднього гідролізу соєвого шроту
Калій дигідрофосфат (KН ₂ PO ₄)	ДСТУ ГОСТ 4198, сертифікат виробника	Масова частка основної речовини	Компонент буферної системи живильних середовищ
Магній сульфат 7-водний (MgSO ₄ ·7H ₂ O)	ДСТУ 7274:2012, сертифікат виробника	Масова частка основної речовини	Джерело магнію для росту мікроорганізмів
2. Допоміжна сировина			
Натрію гідроксид (20% розчин)	ДСТУ 979-2001	Масова частка NaOH	Використовується для корекції рН під час гідролізу
Вода питна	ДСТУ 7525:2014	Відповідає вимогам до води для харчових виробництв	Використовується для приготування всіх середовищ
3. Матеріали			
Мішки паперові багат шарові з поліетиленовим вкладишем	ТУ У на пакувальні матеріали	Міцність, відповідність вимогам до пакування харчових продуктів	Фасування готового продукту
4. Напівпродукти			
Гідролізований	НТД підприємства	рН, масова частка	Проміжний продукт

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.07.00 000 ПЗ

Арк.

31

соевий субстрат		сухих речовин, ступінь гідролізу	після ферментативного гідролізу
Інокуляційне середовище для <i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	НТД підприємства	рН, стерильність	Середовище для наращування інокулюму бактерій
Інокуляційне середовище для <i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	НТД підприємства	рН, стерильність	Середовище для наращування інокулюму дріжджів
Інокулюм <i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	НТД підприємства	Титр живих клітин (КУО/мл), чистота культури	Використовується для інокуляції основного ферментаційного середовища
Інокулюм <i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	НТД підприємства	Титр живих клітин (КУО/мл), чистота культури	Використовується для інокуляції основного ферментаційного середовища
Ферментована суспензія (культуральна рідина)	НТД підприємства	рН, титрована кислотність, масова частка сухих речовин	Напівпродукт перед концентруванням та сушінням
Концентрат ферментованої суспензії	НТД підприємства	Масова частка сухих речовин	Проміжний продукт перед сушінням
Готовий продукт			
Ферментований соевий білковий концентрат	ТУ У (розроблювані)	Масова частка протеїну, активність інгібіторів трипсину,	Харчова добавка (функціональний білковий інгредієнт)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.07.00 000 ПЗ

Арк.

32

		мікробіологічні показники, вологість	
--	--	--	--

2.3 Характеристика біологічного об'єкту

У технології виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки використовується комбінація двох мікроорганізмів - *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*. Вибір саме цієї асоціації обумовлений синергетичною дією молочнокислих бактерій та дріжджів, що дозволяє одночасно досягти ефективної деградації антипоживних факторів сої, часткового протеолізу білків та формування бажаного ароматичного профілю продукту.

Lactiplantibacillus plantarum належить до родини *Lactobacillaceae*, роду *Lactiplantibacillus*. Це грампозитивна, неспороутворююча, каталазонегативна паличкоподібна бактерія, яка є факультативним анаеробом і належить до гомоферментативних молочнокислих бактерій. Клітини мають форму коротких або довгих паличок, часто розташованих поодиноці, парами або короткими ланцюжками. Бактерія не утворює спор і не має джгутиків. На щільних поживних середовищах (MRS-агар) утворює дрібні, білі або кремові, опуклі колонії з рівними краями. Оптимальна температура росту становить 30–37 °С, а оптимальне значення рН - 5,5–6,5. *L. plantarum* характеризується високою протеолітичною активністю та здатністю синтезувати α -галактозидазу, що забезпечує ефективну деградацію рафінози та стахіози - основних плоскогенних олігосахаридів сої (людина та більшість моногастричних тварин не мають ферменту α -галактозидази, тому стахіоза та рафіноза не перетравлюються в тонкому кишечнику, вони надходять у товстий кишечник, де ферментуються мікробіотою з утворенням газів (водень, метан, вуглекислий газ), що викликає метеоризм, здуття живота та дискомфорт). Крім

										162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							33

того, бактерія активно продукує молочну кислоту, що сприяє швидкому зниженню рН середовища, пригніченню небажаної мікрофлори та активації власних протеолітичних ферментів. Ці властивості роблять *L. plantarum* одним з найбільш ефективних штамів для ферментації соєвих субстратів з метою підвищення їхньої біологічної цінності та покращення перетравності.

Другим біологічним агентом технології є дріжджі *Zygosaccharomyces rouxii*, які належать до родини *Saccharomycetaceae*, роду *Zygosaccharomyces*. Це одноклітинні еукаріотичні мікроорганізми овальної або еліпсоїдної форми, які розмножуються брунькуванням. Клітини зазвичай мають розмір 3–8 × 5–12 мкм. Дріжджі є факультативними анаеробами і здатні до спиртового бродіння. На щільних середовищах утворюють кремові або білуваті колонії з гладкою поверхнею. Характерною фізіологічною особливістю *Z. rouxii* є висока осмо- та галофільність, що дозволяє їм активно рости в середовищах з підвищеною концентрацією солей та цукрів. У процесі ферментації соєвих субстратів дріжджі активно метаболізують амінокислоти та цукри з утворенням вищих спиртів, естерів та інших летких сполук, які формують приємний ароматичний профіль продукту та маскують характерний бобовий смак. Крім того, *Z. rouxii* сприяє додатковому протеолізу та синтезу певних біологічно активних сполук.

Використання комбінації *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii* у послідовній інокуляції дозволяє реалізувати переваги обох мікроорганізмів: молочнокислі бактерії забезпечують швидке підкислення середовища, деградацію олігосахаридів та частковий протеоліз, а дріжджі доповнюють процес формуванням органолептичних властивостей та додатковим метаболізмом проміжних продуктів. Така асоціація є фізіологічно сумісною, оскільки *L. plantarum* створює умови (знижений рН), сприятливі для розвитку *Z. rouxii*, а спільна діяльність цих мікроорганізмів забезпечує отримання ферментованого соєвого білкового концентрату з високими нутритивними та сенсорними характеристиками.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Обидва штами мають статус GRAS (Generally Recognized As Safe) та QPS (Qualified Presumption of Safety), що дозволяє їх використання у виробництві харчових продуктів та харчових добавок.

2.4 Біосинтез цільового продукту

У технології виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки біотрансформація соєвого субстрату відбувається завдяки спільній метаболічній активності *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*. Цільовим продуктом процесу є частково гідролізований соєвий білок з підвищеною біодоступністю амінокислот, зниженим вмістом антипоживних факторів та покращеним ароматичним профілем. Біохімічні перетворення, що відбуваються під час ферментації, можна умовно поділити на три взаємопов'язані напрямки: катаболізм вуглеводів, протеоліз соєвих білків та формування ароматичних сполук.

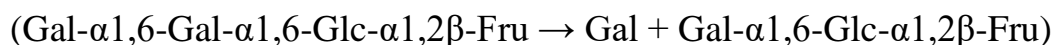
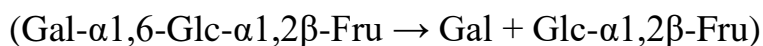
Lactiplantibacillus plantarum проявляє дві важливі глікозидазні активності під час ферментації соєвих субстратів. Завдяки α -галактозидазі бактерія розщеплює рафінові олігосахариди (рафінозу та стахіозу) до галактози та сахарози, що сприяє зниженню плоскогенних властивостей продукту. Одночасно *L. plantarum* синтезує β -глюкозидазу, яка гідролізує β -глікозидні зв'язки в ізофлавоно-глікозидах сої (даїдзин, геністин), перетворюючи їх на біологічно активні аглікони - даїдзеїн та геністеїн.

1. α -Галактозидазна активність (ЕС 3.2.1.22). Ця активність спрямована на деградацію рафінових олігосахаридів – основних плоскогенних (газоутворюючих) антипоживних факторів сої.

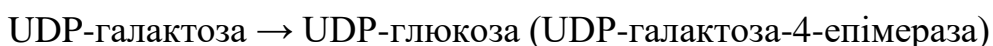
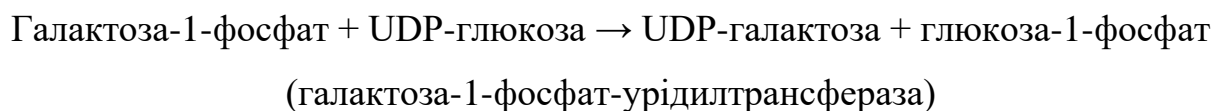
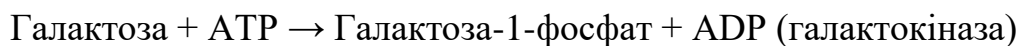
Основним джерелом вуглецю для *Lactiplantibacillus plantarum* у процесі ферментації соєвого субстрату є вуглеводи, серед яких особливе значення мають рафінові олігосахариди – рафіноза та стахіоза. Рафіноза (Gal- α 1,6-Glc-

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

α 1,2 β -Fru) є трисахаридом, що складається з молекули галактози, приєднаної α -1,6-глікозидним зв'язком до сахарози. Стахіоза (Gal- α 1,6-Gal- α 1,6-Glc- α 1,2 β -Fru) є тетрасахаридом і містить додаткову молекулу галактози, приєднану до рафінози. Ці сполуки не можуть бути безпосередньо утилізовані більшістю мікроорганізмів через наявність α -галактозидних зв'язків. Однак *Lactiplantibacillus plantarum* синтезує фермент α -галактозидазу (КФ 3.2.1.22), який гідролізує α -1,6-глікозидні зв'язки. У результаті дії цього ферменту рафіноза розщеплюється на D-галактозу та сахарозу, а стахіоза - на D-галактозу та рафінозу:



Утворена D-галактоза далі метаболізується через шлях Лелуара з утворенням глюкозо-1-фосфату, який включається в гліколіз:



Глюкоза-1-фосфат \rightarrow глюкоза-6-фосфат \rightarrow гліколіз (з утворенням пірувату та L-молочної кислоти)

Ця активність дозволяє бактерії використовувати рафіновані олігосахариди як джерело енергії та одночасно значно знижувати їх вміст у продукті (до 70–90 % за даними літератури). Зниження цих речовин зменшує метеоризм і покращує переносимість соєвих продуктів. Оптимальні умови: температура 35–40 °С, рН 5,5–6,5. У промислових умовах (ферментація соєвого шроту або гідролізату) цей процес відбувається паралельно з гомолактатним бродінням і створює кисле середовище, селективне для МКБ. Галактоолігосахариди (включаючи продукти гідролізу рафінованих

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

олігосахаридів), які селективно ферментуються корисними бактеріями кишечника, сприяючи росту біфідобактерій та лактобацил. Таким чином, α -галактозидазна активність *L. plantarum* не тільки видаляє антипоживні фактори, а й генерує пребіотичні сполуки. [58].

2. β -Глюкозидазна активність (ЕС 3.2.1.21). β -D-глюкозид глюкогідролаза (КФ 3.2.1.21) каталізує гідроліз β -глікозидних зв'язків у різних глікозидах, у тому числі в ізофлавоно-глікозидах сої [59].

Соеві боби та продукти їх переробки містять значну кількість ізофлавонів, які переважно присутні у формі глікозидів - даїдзину, геністину та гліцитину. Ці глікозиди мають низьку біодоступність, оскільки в тонкому кишечнику людини погано всмоктуються. Під час ферментації *Lactiplantibacillus plantarum* синтезує β -глюкозидазу, яка розщеплює β -глікозидний зв'язок між агліконом та цукром:



Аглікони (даїдзеїн, геністеїн, гліцитеїн) мають значно вищу біологічну активність порівняно з глікозидами. Вони краще всмоктуються в кишечнику, проявляють естроген-подібну дію, антиоксидантні, протизапальні та протипухлинні властивості. Таким чином, β -глюкозидазна активність *L. plantarum* не тільки покращує нутритивну цінність соєвого продукту, а й підвищує його функціональні властивості як харчової добавки.

Механізм дії β -глюкозидази полягає в нуклеофільному каталізі з участю двох залишків глютамінової або аспарагінової кислоти в активному центрі ферменту. Один залишок діє як нуклеофіл, а другий - як загальний кислотний/основний каталізатор. Фермент проявляє високу специфічність до β -глікозидних зв'язків і може діяти як на ізофлавоно-глікозиди, так і на інші рослинні глікозиди.

Оптимальні умови прояву β -глюкозидазної активності *Lactiplantibacillus*

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

plantarum дещо відрізняються від оптимальних умов росту бактерії. Найвища активність ферменту зазвичай спостерігається при температурі 35–40 °С та рН 5,0–6,0. У промислових умовах ферментації соєвого субстрату підтримання рН у діапазоні 5,5–6,2 дозволяє одночасно забезпечувати активну роботу як α -галактозидази, так і β -глюкозидази. При зниженні рН нижче 5,0 активність β -глюкозидази помітно падає, що може призвести до неповного перетворення ізофлавоно-глікозидів на аглікони.

Важливо зазначити, що *L. plantarum* здатний не тільки гідролізувати глікозиди, а й частково метаболізувати утворені аглікони. Деякі штами бактерії можуть здійснювати подальшу біотрансформацію даїдзеїну в еквол - метаболіт з високою естрогенною активністю. Однак здатність до утворення екволу є штам-специфічною і залежить від наявності відповідних ферментів (даїдзеїнредуктази та дигідродаїдзеїнредуктази).

У промисловій реалізації технології ферментації соєвого білкового концентрату β -глюкозидазна активність *L. plantarum* є одним із ключових факторів, що визначають функціональну цінність готового продукту. Завдяки цій активності відбувається не тільки зниження вмісту антипоживних факторів (олігосахаридів), а й значне підвищення вмісту біологічно активних агліконів ізофлавононів. Це робить ферментований соєвий білковий концентрат більш цінним функціональним інгредієнтом порівняно з традиційними соєвими концентратами, отриманими фізичними методами переробки.

3. Після попереднього розщеплення олігосахаридів *L. plantarum* утилізує глюкозу та фруктозу через класичний шлях Ембдена–Меєргофа–Парнаса (гліколіз). У ході гліколізу одна молекула глюкози перетворюється на дві молекули пірувату з утворенням 2 молекул АТФ та 2 молекул НАДН. Оскільки *L. plantarum* є гомоферментативною молочнокислою бактерією, майже весь піруват відновлюється до L-молочної кислоти за участі ферменту лактатдегідрогенази. Ця реакція дозволяє регенерувати НАД⁺, необхідний для продовження гліколізу в анаеробних умовах. У результаті основним

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

продуктом вуглеводного метаболізму є L-молочна кислота, яка накопичується в середовищі та призводить до зниження рН.

Зниження рН до значень 5,5–6,0 є важливим технологічним фактором. По-перше, воно створює селективні умови для домінування *L. plantarum*, оскільки більшість небажаної мікрофлори (ентеробактерії, спороутворюючі бактерії) менш стійкі до кислого середовища. По-друге, оптимальне значення рН для прояву α -галактозидазної активності *L. plantarum* знаходиться саме в діапазоні 5,5–6,2. У промислових умовах цей процес контролюється шляхом регулювання температури ферментації на рівні 37 °С, що відповідає температурному оптимуму росту бактерії та максимальної активності ключових ферментів.

4. Крім вуглеводного метаболізму, *Lactiplantibacillus plantarum* активно здійснює протеоліз соєвих білків. Бактерія секретує позаклітинні протеази, які розщеплюють 7S- та 11S-глобуліни сої до пептидів різної довжини. Далі внутрішньоклітинні пептидази (амінопептидази, дипептидази) завершують гідроліз до вільних амінокислот. Цей процес має подвійне значення: з одного боку, він підвищує біодоступність соєвого білка, а з іншого – забезпечує бактерію джерелом азоту та енергії через дезамінування амінокислот. У промисловій реалізації для прискорення протеолізу перед мікробною ферментацією часто проводять попередній ферментативний гідроліз соєвого шроту комерційними протеазами, що дозволяє скоротити тривалість основної ферментації та збільшити вихід біоактивних пептидів.

Таким чином, метаболізм *Lactiplantibacillus plantarum* у соєвому субстраті поєднує взаємопов'язані процеси: розщеплення рафінових олігосахаридів за допомогою α -галактозидази, β -глюкозидазну активність глікозидів сої, гомолактатне бродіння глюкози через шлях Ембдена–Меєргофа–Парнаса та протеоліз соєвих глобулінів. Сукупність цих реакцій забезпечує зниження вмісту антипоживних факторів, підвищення біологічної цінності соєвого білка та створення сприятливих умов для подальшого

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

розвитку дріжджів *Zygosaccharomyces rouxii*. У промислових умовах ефективність цих процесів значною мірою залежить від точного дотримання температурного режиму (37 °С), контролю рН та оптимального часу ферментації.

Дріжджі *Zygosaccharomyces rouxii* відіграють важливу роль у формуванні органолептичних властивостей ферментованого соєвого білкового концентрату, доповнюючи метаболічну активність *Lactiplantibacillus plantarum*. Цей вид є типовим осмофільним мікроорганізмом, що здатний активно рости та метаболізувати субстрат в умовах підвищеної осмотичної напруги, яка виникає в соєвих субстратах через наявність значної кількості солей, цукрів та продуктів гідролізу. Така фізіологічна особливість дозволяє *Z. rouxii* ефективно функціонувати в середовищі, де концентрація сухих речовин може сягати 18–22 %, що є характерним для ферментації соєвого шроту або гідролізату.

Основним шляхом утилізації вуглеводів у *Zygosaccharomyces rouxii* є спиртове бродіння. Глюкоза, що надходить у клітину, метаболізується через гліколіз (шлях Ембдена–Меєргофа–Парнаса) з утворенням пірувату. Далі піруват за участі ферменту піруватдекарбоксилази декарбоксилюється до ацетальдегіду з виділенням вуглекислого газу. Ацетальдегід, у свою чергу, відновлюється до етанолу за допомогою алкогольдегідрогенази з регенерацією НАД⁺. Таким чином, одна молекула глюкози перетворюється на дві молекули етанолу та дві молекули СО₂. Хоча спиртове бродіння є основним енергетичним шляхом, у соєвому середовищі, багатому на вільні амінокислоти, дріжджі активно переключаються на альтернативний шлях метаболізму – шлях Ерліха. Шлях Ерліха є ключовим для формування ароматичного профілю продукту. У цьому процесі дріжджі використовують амінокислоти як джерело азоту та вуглецю. Спочатку амінокислота піддається трансамінуванню з утворенням відповідної α-кетокислоти. Далі відбувається декарбоксилювання з утворенням альдегіду, який відновлюється до вищого

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

спирту. Наприклад: з лейцину утворюється ізоаміловий спирт (3-метил-1-бутанол); з валіну – ізобутиловий спирт (2-метил-1-пропанол); з фенілаланіну – фенілетанол (2-фенілетанол) [46, 60, 61].

Ці вищі спирти є важливими попередниками естерів. У присутності ацетил-КоА або інших ацильних груп за участі ферментів спиртової ацетилтрансферази відбувається етерифікація. В результаті утворюються такі ароматичні сполуки, такі як: етилацетат (фруктовий, солодкуватий запах); ізоамілацетат (аромат банана та груші); фенілетилацетат (аромат троянди та меду).

Саме накопичення цих естерів забезпечує формування приємного фруктово-квіткового ароматичного профілю ферментованого соєвого продукту та значно знижує інтенсивність неприємного бобового присмаку, характерного для необробленої сої.

У промислових умовах метаболічна активність *Zygosaccharomyces rouxii* оптимально реалізується при температурі 30 °С, рН 5,0–5,5 та помірній аерації (0,3–0,6 об/об/хв). Температура 30 °С є оптимальною для прояву ферментативної активності дріжджів, зокрема для синтезу естерів. Значення рН у діапазоні 5,0–5,5 забезпечує стабільність клітинних мембран осмофільних дріжджів та оптимальну роботу ключових ферментів. Помірна аерація необхідна для підтримки енергетичного балансу клітин, однак надмірне надходження кисню може призвести до пригнічення спиртового бродіння та активації дихального метаболізму, що небажано в даній технології.

Таким чином, *Zygosaccharomyces rouxii* не лише доповнює процес ферментації соєвого субстрату, а й відіграє визначальну роль у формуванні сенсорних властивостей готового продукту. Завдяки здатності до осмофільного росту та активному використанню шляху Ерліха з подальшим синтезом естерів, дріжджі забезпечують отримання ферментованого соєвого білкового концентрату з привабливим ароматичним профілем, що є важливою

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

конкурентною перевагою при використанні продукту як харчової добавки.

Важливою особливістю технології є послідовна інокуляція мікроорганізмів. Спочатку в середовище вноситься *Lactiplantibacillus plantarum*, який за 24 год створює кисле середовище (рН 5,5–6,0) та деградує основну частину олігосахаридів. Після цього вноситься *Zygosaccharomyces rouxii*, для якого створені оптимальні умови росту. Така послідовність дозволяє уникнути конкурентного пригнічення дріжджів молочнокислими бактеріями на ранніх етапах та забезпечує максимальну ефективність обох метаболічних шляхів.

При порушенні технологічних параметрів можливий розвиток побічних процесів. Зокрема, при надмірному підвищенні температури або тривалій ферментації без контролю рН може активуватися декарбоксилювання амінокислот з утворенням біогенних амінів (гістамін, тирамін, путресцин). Ці сполуки не тільки погіршують якість продукту, а й можуть негативно впливати на його безпеку. Крім того, при недостатній аерації на стадії росту *Z. rouxii* можливе накопичення надмірної кількості етанолу, що пригнічує ріст молочнокислих бактерій. У промислових умовах для мінімізації цих ризиків здійснюється суворий контроль температури, рН та тривалості ферментації, а також використовується послідовна інокуляція, яка дозволяє розділити метаболічні етапи в часі.

Таким чином, біосинтез ферментованого соєвого білкового концентрату базується на комплексній взаємодії вуглеводного та білкового метаболізму *Lactiplantibacillus plantarum* з ароматутворюючою активністю *Zygosaccharomyces rouxii*. Промислова реалізація цих процесів вимагає точного дотримання температурних режимів, контролю рН та оптимізації часу інокуляції кожного мікроорганізму, що дозволяє отримати продукт з високими нутритивними та органолептичними властивостями при мінімізації небажаних побічних реакцій.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

Матеріальний баланс розраховано на одну промислову серію – 5000 кг готового сухого ферментованого соєвого білкового концентрату. Матеріальний баланс відображає співвідношення між кількістю використаної сировини та матеріалів і кількістю отриманої готової продукції, напівпродуктів, відходів та втрат. Розрахунок виконано за рівняннями [62]:

$$G1 = G2 + G3 + G4 + G5$$

де G1 - загальна кількість сировини та матеріалів, що надійшли на виробництво;

G2 - кількість готової продукції;

G3 - кількість побічних продуктів;

G4 - кількість відходів;

G5 - кількість втрат.

Витратний коефіцієнт сировини (Kp):

$$Kp = G1 / G2$$

Вихід готової продукції (η):

$$\eta = G2 / G1 \cdot 100 \%$$

Втрати (ε):

$$\varepsilon = G5 / G1 \cdot 100 \%$$

Матеріальний баланс наведено у вигляді двох таблиць: постадійного (табл. 3.1) та загального (табл. 3.2).

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 3.1

Матеріальний баланс стадій технологічного процесу (на серію 5000 кг
готового продукту)

Найменування	Вміст основної речовини, %	Витрачено та отримано	Маса, кг	Об'єм, л	Загальна маса, кг	Маса основної речовини, кг
Стадія 1. Підготовка сировини та ферментативний гідроліз						
<i>Витрачено на стадії 1:</i>						
Соевий шрот	42 (протеїн)	Витрачено	8500		8500	3570
Вода	100	Витрачено	34000	34000	34000	34000
Протеолітичний ферментний препарат	100	Витрачено	51		51	51
20% розчин NaOH	20	Витрачено	120		120	24
<i>Всього витрачено на стадії 1</i>			42671	34000	42671	37645
<i>Отримано на стадії 1:</i>						
Гідролізований соевий субстрат	18–20 (с.р.)	Отримано	42000	42000	42000	7560– 8400
Втрати (випаровування, механічні)		Втрати	671		671	
<i>Всього отримано на стадії 1</i>			42671	42000	42671	
Стадія 2–3. Приготування середовищ та нарощування інокулюму						
<i>Витрачено на стадії 2:</i>						
Компоненти середовищ (соевий гідролізат, глюкоза, дріжджовий екстракт, солі)		Витрачено	1152		1152	
Робоча культура мікроорганізмів		Витрачено	220		220	
Вода	100	Витрачено	5650	5650	5650	5650
<i>Всього витрачено</i>			7022	5650	7022	
<i>Отримано на</i>						

Робоча культура мікроорганізмів		Матеріал	220		220	
Всього витрачено			49693	39650	49693	
Отримано						
Готовий ферментований соєвий білковий концентрат	≥65 (протеїн)	Готовий продукт	5300		5300	3445
Втрати (волога, механічні, випаровування)		Втрати	44393		44393	
Всього отримано			49693		49693	

Витратний коефіцієнт сировини (K_p):

$$K_p = 8500 / 5300 = 1,60$$

Вихід готової продукції (η):

$$\eta = 5300/8500 * 100\% = 62,4\%$$

Загальні втрати (ε):

$$\varepsilon = 44393 / 49693 * 100\% = 89,3\%$$

(Основна частка втрат - вода, що видаляється при сушці.)

3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання

3.2.1 Розрахунок енергетичного балансу

Енергетичний баланс розробленої технології виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату складено на одну промислову серію 5000 кг готового сухого продукту. Енергетичний баланс включає витрати теплової енергії (водяної пари), електричної енергії та води на основні стадії технологічного процесу. Найбільш енергоємними стадіями є ферментативний гідроліз та стерилізація середовищ; основна ферментація (підтримання температури та аерація); концентрування та сушіння (розпилювальна сушарка) [63].

									Арк.
									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

Витрати теплової енергії (водяної пари) розраховані за стадіями з урахуванням необхідності нагрівання, підтримання температури та випаровування вологи.

Таблиця 3.3

Витрати водяної пари на серію 5000 кг готового продукту

Стадія технологічного процесу	Витрата пари, кг	Параметри пари	Призначення
Підготовка сировини та ферментативний гідроліз	4200	3–4 бар, 143–150 °С	Нагрівання суспензії до 85–90 °С, підтримання температури
Стерилізація інокуляційних середовищ	850	3 бар	Стерилізація 6000 л середовищ
Основна ферментація	1800	3 бар	Підтримання температури 37 °С та 30 °С
Концентрування на вакуум-випарному апараті	12500	4–5 бар	Випаровування води (з 46250 кг до 5300 кг сухого продукту)
Розпилювальна сушарка	18500	6–8 бар	Випаровування залишкової вологи
Всього пари на серію	37850		

Витрати пари на сушіння та концентрування становлять понад 80 % від загальної кількості пари.

Електроенергія витрачається на роботу насосів, мішалок, компресорів, вакуум-насосів, розпилювальної сушарки та допоміжного обладнання.

Таблиця 3.4

Витрати електроенергії на серію 5000 кг готового продукту

Стадія / Обладнання	Потужність, кВт	Час роботи, год	Витрата електроенергії, кВт·год	Призначення
Реактор гідролізу (мішалка + насоси)	45	8	360	Перемішування та перекачування
Інокулятори та ферментер (мішалки + аерація)	85	56	4760	Перемішування та аерація
Вакуум-випарний апарат	65	12	780	Створення вакууму та перекачування

Розпилювальна сушарка (вентилятори + насоси)	220	10	2200	Розпилення та сушіння
Допоміжне обладнання (насоси, компресори)	40	20	800	Загальнозаводські потреби
Всього електроенергії на серію			8900	

Таблиця 3.5

Витрати води на серію 5000 кг готового продукту

Вид енергоносія	Кількість	Одиниця виміру	Питома витрата на 1 т продукту
Водяна пара	37,85	т	7,57 т/т
Електроенергія	8900	кВт·год	1780 кВт·год/т
Вода (технологічна + оборотна)	144,65	м ³	28,93 м ³ /т
Загальні витрати теплової енергії	95	ГДж	19 ГДж/т

Найбільш енергоємною стадією є сушіння (розпилювальна сушарка) - понад 48 % від загальної витрати пари. Питома витрата пари (7,57 т/т продукту) та електроенергії (1780 кВт·год/т) відповідає середнім показникам для виробництва сухих ферментованих соєвих продуктів [64-69].

Для зниження енергоспоживання рекомендується: використання рекуперації тепла відпрацьованого повітря сушарки; оптимізація режиму концентрування перед сушінням; застосування енергоефективного обладнання (частотні перетворювачі на приводах).

3.2.2 Розрахунок основного обладнання

З матеріального балансу на стадії основної ферментації об'єм ферментованої суспензії становить 46250 кг (при густині близько 1000 кг/м³ це становить 46,25 м³).

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Приймаємо коефіцієнт заповнення $K_3 = 0,75$. Номінальний об'єм ферментера [64, 65]:

$$V_H = V_p / K_3 = 46,25 / 0,75 = 61,7 \text{ м}^3$$

Згідно з таблицею 1.1 [64] найближчий стандартний апарат має $V_H = 63 \text{ м}^3$, внутрішній діаметр $D = 3,2 \text{ м}$. Для ферментації з аерацією (0,5 об/об/хв) та інтенсивним перемішуванням вибираємо апарат з турбінною мішалкою, яка забезпечує ефективне диспергування газу та перемішування.

Висота рівня рідини в апараті (з урахуванням $H/D = 2,5$, типового для ферментерів): $H_p = 8 \text{ м}$.

Для розрахунку числа обертів мішалки для ферментації з аерацією використовуємо формулу (1.3) [64] ($C_{em} = 20,6$ для турбінної мішалки):

$$n \geq C_{em} \frac{D^{0,67} \Delta\rho^{0,3} \sigma^{0,18}}{d_M^{0,54} \rho_p^{0,5}}$$

Приймаємо типові значення для суспензії ($\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\Delta\rho = 100 \text{ кг/м}^3$, $\sigma = 0,05 \text{ Н/м}$) та $d_M = 0,9 \text{ м}$.

Розраховане $n = 1,8\text{--}2,2 \text{ с}^{-1}$. Приймаємо $n = 2 \text{ с}^{-1}$ (120 об/хв) - стандартне значення для ферментерів такого об'єму з аерацією.

В процесі перемішування вільна поверхня рідини утворює воронку, глибина якої залежить від гідродинамічного режиму, створеного в реакторі без перегородок. Цей режим характеризується допоміжними параметрами γ , E , ψ [64].

Параметр висоти завантаження γ реактора:

$$\gamma = 8 \frac{H_p}{D} + 1$$

$$\gamma = 8 * 8 / 3,2 + 1 = 21.$$

Параметр гідравлічного опору мішалки E :

$$E = \frac{\gamma}{\xi_m Z_M R_{e\zeta}^{0,25}}$$

де ξ_m - коефіцієнт гідравлічного опору мішалки (див. табл. 1.6);

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

z_M - кількість мішалок на одному валу.

При $\xi_M = 8,4$ для турбінної мішалки згідно з табл. 1.6 [64], $z_M = 1$, $R_{\text{сц}} = 1,62 \times 10^6 \text{ Е} = 0,07$.

За значенням параметру E на рис. 1.2 – 1.4 [64] знаходять параметр розподілення швидкості ψ_1 . За цим параметром знаходимо параметр B на рис. 1.5 [64], який дорівнює $B = 15-18$.

Тоді глибина воронки дорівнює:

$$h_B = \frac{Bn^2 d_M^2}{2}$$

$$h_B = 20-25 \text{ м}$$

Гранично допустима глибина воронки $h_{\text{гр}} = H_p - h = 7,1 \text{ м}$ (h - висота встановлення мішалки). Оскільки $h_B > h_{\text{гр}}$, в апараті встановлюються 4 перегородки.

Розрахуємо потужність, що витрачається на перемішування:

$$N = K_N \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_M^5$$

де K_N - коефіцієнт потужності, який знаходять за графіками наведеними на рис. 1.6–1.9 [64]. За графіками для турбінної мішалки з перегородками $K_N = 5,5$.

Тоді потужність на перемішування:

$$N = 5,5 * 1000 * 8 * 0,59 = 26 \text{ кВт}$$

Розрахуємо потужність приводу мішалки. Враховуємо: $K_i = 1,2$ (наявність аерації та внутрішніх пристроїв), $K_n = 1$ (апарат з перегородками), $\eta = 0,87$ (ККД приводу), $N_{\text{ущ}} = 2 \text{ кВт}$ (тертя в ущільненні)

Тоді потужність приводу:

$$N_{\text{ел}} = \frac{K_n \cdot K_i \cdot N + N_{\text{ущ}}}{\eta}$$

$$N_{\text{ел}} = (1,25 * 1,2 * 26 + 2) / 0,87 = 46 \text{ кВт.}$$

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Параметри ферментера:

Параметр	Значення
Номінальний об'єм V_H	63 м ³
Внутрішній діаметр D	3,2 м
Діаметр мішалки d_M	0,9 м
Частота обертів n	2 с ⁻¹ (120 об/хв)
Потужність на перемішування N	26 кВт
Потужність приводу $N_{ел}$	46 кВт
Кількість перегородок	4

3.3 Опис технологічного процесу

Виробництво ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки здійснюється за гібридною технологією, що включає попередній ферментативний гідроліз соєвого шроту з подальшою зануреною ферментацією. Для ферментації використовується комбінація штамів *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*. Технологічний процес розроблено з урахуванням сучасних наукових даних щодо синергетичної дії молочнокислих бактерій та дріжджів при ферментації соєвих субстратів. Обсяг однієї промислової серії за даними роботи – 5000 кг готового сухого продукту.

Технологія складається з таких основних стадій: підготовка сировини та ферментативний гідроліз, приготування інокуляційних середовищ, нарощування інокулюму, приготування основного ферментаційного середовища, основна ферментація, сушіння та фасування готового продукту.

Стадія 1. Підготовка сировини та ферментативний гідроліз

На стадію надходить 8500 кг соєвого шроту (вологість 10–12 %, вміст протеїну не менше 42 %). Соєвий шрот подрібнюють до частинок розміром 0,5–1,0 мм і змішують з водою у співвідношенні 1:4 у реакторі з мішалкою об'ємом 50 м³. Отримується суспензія масою 42500 кг. Суспензію нагрівають до 85–90 °С і витримують 30 хв для часткової інактивації антипоживних факторів і стерилізації. Після охолодження до 50–55 °С вносять

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

протеолітичний ферментний препарат з розрахунку 0,5–0,8 % від маси шроту. Ферментативний гідроліз проводять протягом 5 год та постійному перемішуванні та підтриманні рН 7,5–8,0 шляхом додавання 20 % розчину NaOH. На цій стадії відбувається часткове розщеплення соєвих глобулінів, що підвищує доступність субстрату для мікроорганізмів ля подальшої мікробної ферментації. Після завершення гідролізу суспензію підкислюють до рН 6,3–6,5 і пастеризують при 72 °С протягом 15 с. На виході отримують 42000 кг гідролізованого соєвого субстрату з масовою часткою сухих речовин 18–20 %.

Стадія 2. Приготування інокуляційних середовищ

Паралельно з ферментативним гідролізом соєвого шроту готують живильні середовища для нарощування інокулюму *Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*. Обсяг середовищ розрахований з урахуванням необхідності отримання приблизно 2500 л інокулюму кожної культури для внесення в основний ферментер.

Для *Lactiplantibacillus plantarum* використовують середовище такого складу: 180 кг соєвого гідролізату, 90 кг глюкози, 30 кг дріжджового екстракту, 6 кг K_2HPO_4 , 1,5 кг $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ та воду до загального об'єму 3000 л. Середовище готують у реакторі з мішалкою та системою підігріву. Компоненти послідовно розчиняють у воді при температурі 50–60 °С, доводять рН до 6,3–6,5 і стерилізують при 121 °С протягом 25 хв у реакторі об'ємом 4000 л. Після стерилізації та охолодження до 37 °С середовище готове до інокуляції та передають на стадію нарощування інокулюму.

Для *Zygosaccharomyces rouxii* готують середовище такого складу: 240 кг соєвого гідролізату, 120 кг глюкози, 36 кг дріжджового екстракту, 9 кг K_2HPO_4 , 1,8 кг $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ та воду до об'єму 3000 л. Середовище також готують у реакторі, стерилізують при 121 °С протягом 25 хв і охолоджують до 30 °С.

Стадія 3. Нарощування інокулюму

Охоложене інокуляційне середовище для *Lactiplantibacillus plantarum* інокулюють 100 л робочої культури з титром не менше 10^9 КУО/мл.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Культивування проводять у інокуляторі об'ємом 4000 протягом 20–22 год при температурі 37 °С, рН 5,8–6,2 та мікроаерації 0,3–0,5 об/об/хв. На виході отримують близько 2500 л інокульому *L. plantarum* з концентрацією клітин $8 \times 10^9 - 1,2 \times 10^{10}$ КУО/мл.

Аналогічно інокують середовище для *Zygosaccharomyces rouxii* 120 л робочої культури. Культивування проводять протягом 26–30 год при температурі 30 °С, рН 5,0–5,5 та аерації 1,0–1,2 об/об/хв. На виході отримують близько 2500 л інокульому дріжджів з концентрацією $3 \times 10^8 - 6 \times 10^8$ КУО/мл.

Стадія 4. Приготування основного ферментаційного середовища

На стадію надходить 42000 кг гідролізованого соєвого субстрату. Його завантажують у основний ферментер робочим об'ємом 45000 л (номінальний - 60 м³). До субстрату додають 600 кг глюкози та 300 кг дріжджового екстракту для стимуляції росту мікроорганізмів. Суміш ретельно перемішують і доводять об'єм до 45000 л водою. Отримане ферментаційне середовище пастеризують при 72 °С протягом 20 с і охолоджують до 37 °С. На цій стадії контролюють масову частку сухих речовин (18–20 %), рН (6,2–6,5) та відсутність контамінації.

Стадія 5. Основна ферментація

Охолоджене ферментаційне середовище послідовно інокують. Спочатку вносять 2250 л (5 % від об'єму) інокульому *Lactiplantibacillus plantarum*. Ферментацію проводять протягом 24 годин при температурі 37 °С з мікроаерацією (0,1 об/об/хв), підтримуючи рН у діапазоні 5,5–6,0. На цій стадії відбувається активне зниження рН, деградація олігосахаридів та частковий протеоліз.

Після 24 год вносять 1800 л (4 % від об'єму) інокульому *Zygosaccharomyces rouxii*. Подальшу ферментацію проводять ще 28–32 години при температурі 30 °С з аерацією 0,5 об/об/хв. Послідовна інокуляція обрана тому, що молочнокислі бактерії спочатку створюють кисле середовище та деградують вуглеводи, а дріжджі ефективно формують ароматичний профіль

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

продукту. Загальна тривалість ферментації становить 52–56 годин. На виході стадії отримують приблизно 46000–46500 кг ферментованої суспензії з масовою часткою сухих речовин 17–18,5 %.

Стадія 6. Сушка та фасування

Ферментовану суспензію концентрують на вакуум-випарному апараті до масової частки сухих речовин 28–30 %. Концентрат сушать на розпилувальній сушарці. На виході отримують 5200–5400 кг сухого порошку. Після просіювання та магнітної сепарації продукт фасують у багат шарові паперові мішки з поліетиленовим вкладишем по 25 кг. Готовий ферментований соєвий білковий концентрат має масову частку протеїну не менше 65 % у перерахунку на суху речовину, активність інгібіторів трипсину не більше 2 мг/г та задовольняє мікробіологічні вимоги для харчових добавок.

На всіх стадіях здійснюється контроль: вхідний контроль сировини (масова частка протеїну, вологи, активність інгібіторів трипсину), контроль параметрів ферментації (температура, рН, титрована кислотність, кількість живих клітин), контроль якості напівпродуктів та готового продукту (фізико-хімічні та мікробіологічні показники). Особлива увага приділяється мікробіологічній чистоті інокулюму та відсутності контамінації на стадії ферментації.

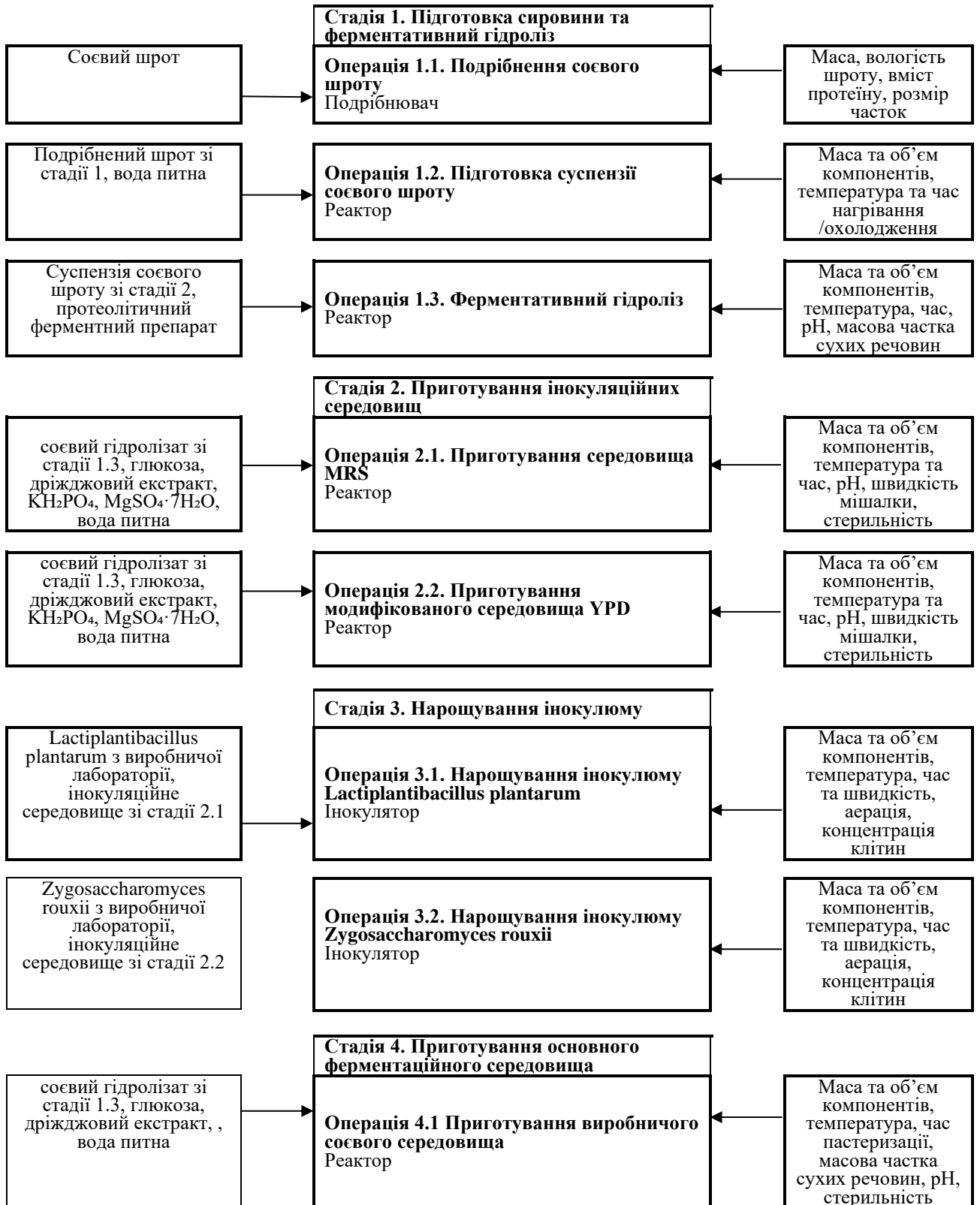
					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.4 Схеми виробництва

*Вихідна сировина,
проміжна продукція та
матеріали*

Виготовлення соєвих білків

*Контроль у
процесі
виробництва*



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.07.00 000 ПЗ

Арк.

55

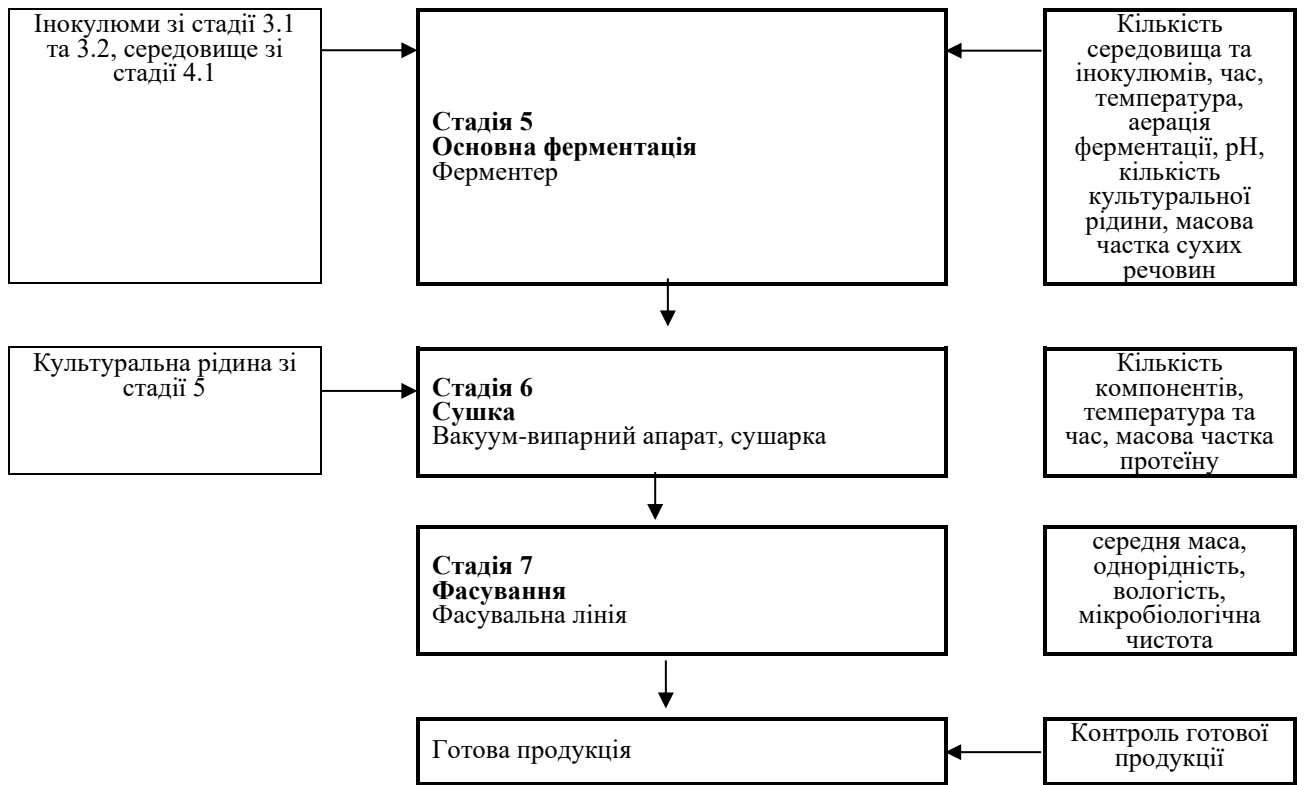


Рис. 3.1 – Технологічна схема виробництва соєвих білків

Специфікація основного технологічного обладнання

Стадія процесу	Найменування обладнання	Технічна характеристика	Кількість	Призначення
Підготовка сировини та ферментативний гідроліз	Реактор-змішувач з сорочкою	Номинальний об'єм 10 м ³ , робочий об'єм до 8 м ³ , матеріал AISI 316L, якірна або рамна мішалка (30–80 об/хв), сорочка для нагріву/охолодження, система CIP/SIP, датчики температури та pH	1 шт.	Приготування суспензії соєвого шроту, проведення ферментативного гідролізу соєвих глобулінів
Стерилізація інокуляційних середовищ	Пластинчастий теплообмінник (in-line стерилізатор)	Продуктивність 2000–5000 л/год, температура стерилізації 121–125 °C, час витримки 20–30 с, матеріал AISI 316L	1 шт.	Безперервна стерилізація інокуляційних середовищ перед нарощуванням інокулюму
Нарощування інокулюму	Посівний апарат	Робочий об'єм 10–50 л, матеріал AISI 316L, механічна мішалка, контроль температури, pH, аерація, система CIP	2 шт.	Нарощування робочих культур <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> та <i>Zygosaccharomyces rouxii</i>
Нарощування інокулюму	Інокулятор	Номинальний об'єм 500 л, матеріал AISI 316L, турбінна мішалка, система аерації, автоматичне регулювання температури та pH	2 шт.	Підготовка промислового інокулюму (2500 л кожної культури)
Основна ферментація	Промисловий ферментер з механічним перемішуванням та аерацією	Номинальний об'єм 63 м ³ , робочий об'єм 45 м ³ , матеріал AISI 316L, турбінна мішалка (100–150 об/хв), система аерації (0,5 об/об/хв), 4 перегородки, тензометричне зважування,	1 шт.	Проведення основної ферментації соєвого гідролізату з послідовною інокуляцією <i>L. plantarum</i> та <i>Z. rouxii</i>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.07.00 000 ПЗ

Арк.

58

		контроль температури, рН та розчиненого кисню, система CIP/SIP		
Концентрування ферментованої суспензії	Вакуум-випарний апарат	Продуктивність 2000–4000 кг/год по випаровуваній воді, робочий тиск до 0,05 бар, матеріал AISI 316L	1 шт.	Концентрування ферментованої суспензії з 17–18,5 % до 28–30 % сухих речовин
Сушіння	Розпилювальна сушарка	Продуктивність 300–600 кг/год по сухому продукту, температура вхідного повітря 160–180 °С, температура вихідного повітря 75–85 °С, матеріал контакту AISI 316L, система пиловловлення	1 шт.	Отримання сухого порошку ферментованого соєвого білкового концентрату (вологість ≤ 8 %)
Фасування готового продукту	Фасувально-пакувальна лінія (напівавтоматична)	Продуктивність 150–300 кг/год, точність дозування ±1 %, фасування в багат шарові паперові мішки з поліетиленовим вкладишем (10–25 кг)	1 комплект	Фасування, зважування та пакування готового ферментованого соєвого білкового концентрату

3.5 Критичні параметри виробництва

Згідно з вимогами ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи керування безпекою харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга», контроль якості є невід’ємною частиною всієї системи виробництва харчової добавки. Він охоплює всі етапи життєвого циклу продукту - від приймання сировини до фасування готової продукції. Контроль якості включає не лише лабораторні випробування, а й організацію, документування та процедури, що гарантують відповідність продукції встановленим вимогам перед її випуском. У розробленій технології виробництва ферментованого

									Арк.
									59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

соєвого білкового концентрату як харчової добавки проведено аналіз критичних точок відповідно до принципів НАССР. До переліку включено лише ті стадії та параметри, які безпосередньо впливають на безпеку, якість та стабільність технологічного процесу.

Таблиця 3.7

Контроль критичних стадій і проміжної продукції

№	Критичні точки (критичні стадії, операції)	Критичні параметри і критичні характеристики якості	Одиниця виміру	Критерій прийнятності
1	Приймання соєвого шроту	Вміст протеїну, вологість, активність інгібіторів трипсину, мікробіологічні показники (КМАФАнМ, дріжджі та плісняві гриби),	%; %; мг/г; КУО/г	Протеїн ≥ 42 %; вологість ≤ 12 %; активність інгібіторів трипсину ≤ 4 мг/г; КМАФАнМ $\leq 5 \times 10^4$ КУО/г
2	Ферментативний гідроліз соєвого шроту	Температура процесу, рН середовища, тривалість гідролізу	°С; од. рН; год	Температура 85–90 °С; рН 7,5–8,0; тривалість 5 год
3	Стерилізація інокуляційних середовищ	Температура стерилізації, час витримки	°С; хв	Температура 121 ± 1 °С; час витримки 25 хв
4	Нарощування інокулюму (<i>L. plantarum</i> та <i>Z. rouxii</i>)	Титр живих клітин, морфолого-фізіологічні показники, відсутність контамінації	КУО/мл	<i>L. plantarum</i> : $\geq 8 \times 10^9$ КУО/мл; <i>Z. rouxii</i> : $\geq 3 \times 10^8$ КУО/мл; відсутність сторонньої мікрофлори
5	Основна ферментація	Температура, рН, тривалість ферментації, аерація	°С; од. рН; год; об/об/хв	Температура 37 °С (перші 24 год) \rightarrow 30 °С (наступні 28–32 год); рН 5,5–6,0; загальна тривалість 52–56 год; аерація 0,5 об/об/хв
6	Концентрування ферментованої суспензії	Масова частка сухих речовин після концентрування	%	28–30 %
7	Сушіння (розпилювальна сушарка)	Температура повітря на вході та виході, вологість готового продукту	°С; %	Вологість готового продукту ≤ 8 %
8	Фасування	Герметичність упаковки,	-;	Відсутність

	готового продукту	маркування, маса нетто	кг	пошкоджень упаковки; відповідність маркування; маса нетто $25 \pm 0,25$ кг
--	-------------------	------------------------	----	--

Критичні точки визначено на основі аналізу небезпек (біологічних, хімічних та фізичних) відповідно до принципів HACCP. Мікробіологічний контроль здійснюється на стадіях стерилізації середовищ, нарощування інокулюму та основної ферментації. Хіміко-технологічний контроль включає визначення рН, температури, масової частки сухих речовин та активності інгібіторів трипсину. На всіх критичних стадіях передбачено ведення записів у технологічних журналах та можливість застосування коригувальних дій у разі виходу параметрів за межі критеріїв прийнятності.

Методики визначення основних параметрів процесу:

- Визначення масової частки протеїну - за методом.
- Визначення активності інгібіторів трипсину - спектрофотометричним методом.
- Визначення титру живих клітин - методом висіву на щільні поживні середовища (MRS-агар для *L. plantarum*, середовище Сабуро для дріжджів).
- Визначення рН - потенціометричним методом.
- Визначення масової частки вологи - методом висушування до постійної маси при температурі 105 °С.
- Мікробіологічні показники - відповідно до ДСТУ ISO 4833 (КМАФАнМ), ДСТУ ISO 21527 (дріжджі та плісняві гриби).

Запровадження системи HACCP та чіткий контроль критичних точок забезпечує стабільну якість ферментованого соєвого білкового концентрату, його мікробіологічну безпеку та відповідність вимогам до харчових добавок [70-72].

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

3.6 Екологічні аспекти виробництва

Виробництво ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки, незважаючи на використання відновлюваної рослинної сировини та біотехнологічних методів переробки, супроводжується утворенням певних видів відходів, технологічних викидів та стічних вод. Аналіз екологічних аспектів процесу проведено на підставі опису технології, матеріального балансу та критичних точок контролю якості, що дозволило визначити основні джерела негативного впливу на навколишнє середовище та обґрунтувати заходи щодо його мінімізації.

Основними видами відходів і викидів, що утворюються в процесі виробництва, є газоповітряні викиди, стічні води та тверді відходи. Найбільш значущими джерелами газоповітряних викидів є стадії ферментативного гідролізу та основної ферментації, під час яких відбувається виділення вуглекислого газу внаслідок дихання мікроорганізмів, зокрема *Zygosaccharomyces rouxii*. Додатковими джерелами є стадія сушіння, де утворюється значна кількість водяної пари та пилу сухого продукту, а також стадія фасування. Склад газоповітряних викидів включає вуглекислий газ, водяну пару, леткі органічні сполуки (вищі спирти, естери, альдегіди), що утворюються під час ферментації, а також пил соєвого походження. Для очищення відпрацьованого повітря доцільно використовувати фільтри, які ефективно видаляють органічні сполуки та неприємні запахи, а також скрубери для уловлювання пилу.

Для забезпечення ефективного очищення відпрацьованого повітря на підприємстві доцільно впровадити комплексну систему газоочищення, що поєднує кілька послідовно розташованих етапів. На стадіях ферментації та сушіння, де утворюються леткі органічні сполуки (вищі спирти, естери, альдегіди) та неприємні запахи, найбільш доцільним рішенням є застосування біофільтрів. Біофільтр являє собою стаціонарну установку, заповнену

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

спеціальним фільтруючим матеріалом (торф, компост, деревна тріска або синтетичні носії), на поверхні якого розвивається мікробна біоплівка, що здатна окислювати органічні забруднювачі до вуглекислого газу та води. Така система дозволяє досягти ступеня очищення від летких органічних сполук на рівні 85–95 % і значно зменшити інтенсивність запахів.

Для попереднього уловлювання пилу соєвого походження, що утворюється на стадіях підготовки шроту та сушіння, рекомендується встановлювати циклони або рукавні фільтри з імпульсною регенерацією. Циклони забезпечують грубе очищення повітря від крупнодисперсного пилу (ефективність 85–95 %), тоді як рукавні фільтри дозволяють досягти високого ступеня очищення (до 99 %) навіть від дрібнодисперсного пилу. Після рукавного фільтра доцільно передбачити доочищення на біофільтрі або біоскрубері, що дозволить одночасно видаляти як пилові частинки, так і органічні забруднювачі.

Значні обсяги стічних вод утворюються на стадіях приготування суспензії соєвого шроту, ферментативного гідролізу, стерилізації середовищ, основної ферментації, концентрування та під час проведення СІР-миття обладнання. Ці води характеризуються високим вмістом органічних речовин, залишками соєвих білків, вуглеводів та солей. Для їх очищення доцільно застосовувати комбіновані схеми, що включають механічне очищення на решітках та відстійниках, біологічне очищення в аеротенках або біореакторах з активним мулом, а також анаеробне зброджування стоків з високим вмістом органічних речовин для отримання біогазу. Важливим напрямом є організація замкнутого циклу водокористування з рециркуляцією очищеної води на технологічні потреби, що дозволить суттєво зменшити загальне водоспоживання підприємства.

Тверді відходи виробництва представлені залишками соєвого шроту після гідролізу, відпрацьованою біомасою мікроорганізмів (*Lactiplantibacillus plantarum* та *Zygosaccharomyces rouxii*), осадом після біологічного очищення

									Арк.
									63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.07.00 000 ПЗ				

стічних вод та відходами пакувальних матеріалів. Найбільш перспективним напрямом поводження з відпрацьованою біомасою мікроорганізмів є її використання як кормової добавки для сільськогосподарських тварин після відповідної термічної обробки або як сировини для виробництва органічних добрив. Залишки соєвого шроту доцільно направляти на виробництво кормів або використовувати як субстрат для отримання біогазу. Осад після біологічного очищення стічних вод також може бути використаний у сільському господарстві як органічне добриво. Пакувальні відходи підлягають сортуванню та передачі на переробку відповідно до вимог законодавства у сфері поводження з відходами.

Загалом, впровадження комплексу заходів, що включають біологічні методи очищення газоповітряних викидів і стічних вод, рекуперацію тепла, організацію замкнутого водного циклу та комплексну утилізацію твердих відходів як вторинної сировини, дозволить значно знизити негативний вплив виробництва на навколишнє середовище. Такі рішення не лише відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки, а й сприяють підвищенню економічної ефективності підприємства за рахунок зменшення витрат на утилізацію відходів та енергоресурси [74-76].

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі розроблено комплексне технологічне рішення з організації виробництва ферментованого соєвого білкового концентрату як харчової добавки з використанням комбінації молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та дріжджів *Zygosaccharomyces rouxii*.

У результаті аналізу сучасного стану виробництва соєвих білків та існуючих підходів до їх ферментаційної модифікації обґрунтовано доцільність використання послідовної ферментації з участю *L. plantarum* та *Z. rouxii*. Встановлено, що така комбінація забезпечує ефективну деградацію рафінових олігосахаридів, частковий протеоліз соєвих глобулінів, а також формування приємного ароматичного профілю за рахунок синтезу естерів дріжджами.

Розроблено принципову технологічну схему виробництва, що включає стадії ферментативного гідролізу соєвого шроту, приготування та стерилізації інокуляційних середовищ, нарощування інокулуму, основної ферментації, концентрування та сушіння. На підставі матеріального балансу, складеного на промислову серію обсягом 5000 кг готового сухого продукту, визначено витратний коефіцієнт сировини (1,60) та вихід готової продукції (62,4 %).

Здійснено розрахунок основного технологічного обладнання. Обґрунтовано вибір ферментера номінальним об'ємом 63 м³ з турбінною мішалкою, визначено його конструктивні параметри, частоту обертів мішалки, глибину воронки та потужність приводу.

Проведено аналіз критичних точок виробництва відповідно до вимог системи НАССР та ДСТУ ISO 22000:2019. Розроблено таблицю контролю критичних стадій і проміжної продукції, що охоплює вісім ключових етапів процесу - від приймання сировини до фасування готового продукту. Визначено критичні параметри, критерії прийнятності та методи їх

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

контролю.

Оцінено екологічні аспекти технології. Встановлено основні джерела газоповітряних викидів, стічних вод та твердих відходів. Запропоновано комплекс заходів щодо їх очищення та утилізації, зокрема використання біофільтрів для очищення повітря, анаеробного зброджування стічних вод та використання відпрацьованої біомаси як вторинної сировини.

Таким чином, у результаті виконання кваліфікаційної роботи створено цілісне технологічне рішення, яке відповідає сучасним вимогам до виробництва функціональних харчових добавок, принципам сталого розвитку та може бути рекомендоване для впровадження на вітчизняних біотехнологічних підприємствах. Запропонована технологія сприяє підвищенню доданої вартості соєвої сировини, зменшенню імпортозалежності та розвитку «зелених» технологій в Україні.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Сергій Феофілов: Українська соя та її перспективи у запитаннях та відповідях // УкрАгроКонсалт : інформаційно-аналітичне агентство : вебсайт. 2024. URL: <https://ukragroconsult.com/news/sergij-feofilov-ukrayinsyka-soya-ta-yiyi-perspektyvy-u-zapytanniah-ta-vidpovidyah/> (дата звернення: 09.02.2026).

19. Sa A. G. A., Moreno Y. M. F., Carciofi B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends Food Sci. Technol.* 2020. 97. 170–184. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.011.

20. Natural proteins: Sources, isolation, characterization and applications / J. Y. Nehete et al. *Pharmacogn. Rev.* 2013. 7. 107–116. DOI: 10.4103/0973-7847.120508.

21. Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations / M. Kumar et al. *Food Hydrocoll.* 2021. 115. 106595. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106595.

22. Pojic M., Misan A., Tiwari B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends Food Sci.* 2018;75:93–104. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.03.010.

23. Hadi J., Brightwell G. Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. *Foods.* 2021.10. 1226. DOI: 10.3390/foods10061226.

24. Aimutis W. R. Plant-Based Proteins: The Good, Bad, and Ugly. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2022. 13. P. 1–17. DOI: 10.1146/annurev-food-092221-041723.

25. US Dairy Export Council Research Brief: Comparing Commercial Processing of Dairy and Plant Protein Ingredients. 2020. URL: <https://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/research-brief-comparing-commercial-processing-of-dairy-and-plant-protein-ingredients> (Data of access: 01.02.2026).

26. Food and Drug Administration Re: GRAS Notice No. GRN 000091. Food Additive Petition FAP 6A3930. 2002. URL:

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

<https://www.cspinet.org/sites/default/files/attachment/quornltr.pdf>. (Data of access: 01.02.2026).

27. European Commission The Commission Authorises Eight Genetically Modified Crops for Use as Food and Feed. 2021. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_21_190. (Data of access: 01.02.2026).

28. Food Allergies: What You Need to Know : Food and Drug Administration. URL: <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-allergies-what-you-need-know> (Data of access: 01.02.2026).

29. Food Allergies: The “Big 9” : USDA. URL: <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/food-allergies-big-9> (Data of access: 01.02.2026).

30. Conventional solid-state fermentation impacts the white lupin proteome reducing the abundance of allergenic peptides. A. Tahmasian, et al. *Food Chem.* 2023. 426. 136622. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136622.

31. Chandran A. S., Suri S., Choudhary P. Sustainable plant protein: An up-to-date overview of sources, extraction techniques and utilization. *Sustain. Food Technol.* 2023. 1. P. 466–483. DOI: 10.1039/D3FB00003F.

32. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J. Agric. Food Res.* 2022. 7. 100265. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100265.

33. Munialo C. D. A review of alternative plant protein sources, their extraction, functional characterisation, application, nutritional value and pinch points to being the solution to sustainable food production. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. 59. P. 462–472. DOI: 10.1111/ijfs.16467.

34. Two-stage selective enzymatic hydrolysis generates protein hydrolysates rich in Asn-Pro and Ala-His for enhancing taste attributes of soy sauce / Y. Zhao et al. *Food Chem.* 2021. Vol. 345. P. 128803. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128803.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

35. Soybean Protein Extraction by Alcalase and Flavourzyme, Combining Thermal Pretreatment for Enteral Feeding Product / T. L. Q. Anh et al. *Catalysts*. 2020. Vol. 10. P. 829. DOI: 10.3390/catal10080829.

36. Effect of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the volatile flavors of mung beans / C. Yi et al. *LWT-Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 146. P. 111434. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111434.

37. Tartary buckwheat protein hydrolysates enhance the salt tolerance of the soy sauce fermentation yeast *Zygosaccharomyces rouxii* / Y. Li et al. *Food Chem.* 2021. Vol. 342. P. 128382. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128382.

38. Effects of co-inoculation and sequential inoculation of *Tetragenococcus halophilus* and *Zygosaccharomyces rouxii* on soy sauce fermentation / P. V. P. Devanthi et al. *Food Chem.* 2018. Vol. 240. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.07.143.

39. Effects of Polysaccharide Supplementation on Lactic Acid Bacteria-Fermented Soy Protein Gel: Structural Characteristics, Allergenicity, and Epitope Analysis / X. Guo et al. *Foods*. 2025. Vol. 14, № 4. P. 701. DOI: 10.3390/foods14040701.

40. Therapeutic Efficacy of Soy-Derived Bioactives: A Systematic Review of Nutritional Potency, Bioactive Therapeutics, and Clinical Biomarker Modulation / Z. Fatima et al. *Foods*. 2025. Vol. 14. Iss. 19. DOI: 10.3390/foods14193447.

41. Ashaolu T. J. Health Applications of Soy Protein Hydrolysates. *Int. J. Pept. Res. Ther.* 2020. Vol. 26. P. 2333–2343. DOI: 10.1007/s10989-020-10018-6.

42. Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification / K. Nishinari et al. *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 39. P. 301-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.01.013>.

43. Physicochemical and sensory characteristics of soya protein isolate hydrolysates with added substrate-like amino acids / J. Zhang et al. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2016. Vol. 51. P. 69–77. DOI: 10.1111/ijfs.12945.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

44. Nutritional function and flavor evaluation of a new soybean beverage based on *Naematelia aurantialba* fermentation / T. Sun et al. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 272. DOI: 10.3390/foods11030272.

45. Recent advances in exploring and exploiting soybean functional peptides-a review / Y. Zhu et al. *Front. Nutr. Sec. Nutrition and Sustainable Diets*. 2023. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1185047>.

46. Effects of Fermentation with *Tetragenococcus halophilus* and *Zygosaccharomyces rouxii* on the Volatile Profiles of Soybean Protein Hydrolysates / Chenchen Cao et al. *Journals Foods*. 2023. Vol. 12, Issue 24. P. 4513. DOI: 10.3390/foods12244513.

47. Effect of fermentation with *Tetragenococcus halophilus* and *Zygosaccharomyces rouxii* on selected non-volatile taste compounds in soybean protein hydrolysates / C. Cao et al. *LWT-Food Sci. Technol.* 2023. Vol. 184. P. 115053. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115053.

48. Effect of co-culture with *Tetragenococcus halophilus* on the physiological characterization and transcription profiling of *Zygosaccharomyces rouxii* / S. Yao et al. *Food Res. Int.* 2019. Vol. 121. P. 348–358. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.03.053.

49. Community structure of yeast in fermented soy sauce and screening of functional yeast with potential to enhance the soy sauce flavor / J. Wang et al. *Int. J. Food Microbiol.* 2022. Vol. 370. P. 109652. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109652.

50. Effect of aroma-producing yeasts in high-salt liquid-state fermentation soy sauce and the biosynthesis pathways of the dominant esters / X. Jiang et al. *Food Chem.* 2021. Vol. 344. P. 128681. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128681.

51. Novel insight into physicochemical and flavor formation in naturally fermented tilapia sausage based on microbial metabolic network / Y. Zhao et al. *Food Res. Int.* 2021. Vol. 141. P. 110122. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110122.

52. Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Composition and on Their Nutritional, Functional, and Sensory Properties / M. Emkani et al.

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Fermentation. 2022. 8(6). P. 244. DOI:
<https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>.

53. Fermenting for flavour: Lactiplantibacillus plantarum improves flavour and functional properties of textured soy protein in meat analogue applications / F. A. Deen et al. *Food Bioscience*. 2025. Vol. 74. P. 107887. DOI: 10.1016/j.fbio.2025.107887.

54. Impact of Lactiplantibacillus plantarum on the fermentation quality, nutritional enhancement, and microbial dynamics of whole plant soybean silage / H. Meng et al. *Frontiers in Microbiology*. 2025. Vol. 16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1565951>.

55. Legumes and Legume-Based Beverages Fermented by Lactic Acid Bacteria / P. Cichońska et al. *Foods*. 2021. Vol. 10(1). P. 44. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010091>.

56. Soybean fermentation: Microbial ecology and starter cultures / H. Elhalis et al. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. DOI:10.1080/10408398.2023.2188951.

57. A taxonomic note on the genus Lactobacillus: Description of 23 novel genera, emended description of the genus Lactobacillus Beijerinck 1901, and union of Lactobacillaceae and Leuconostocaceae / Zheng, J. et al. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2020. 70(4). 2782–2858. DOI: 10.1099/ijsem.0.004107.

58. Prebiotic Effects of α - and β -Galactooligosaccharides: The Structure-Function Relation / I. Ignatova et al. *Molecules*. Vol. 30. Iss. 4. DOI: 10.3390/molecules30040803.

59. β -Glucosidase Activity of Lactiplantibacillus plantarum: A Key Player in Food Fermentation and Human Health / G. Paventi et al. *Foods*. 2025. 22. 14(9). 1451. DOI: 10.3390/foods14091451.

60. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism / L. A. Hazelwood et al. *Applied and*

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Новий Світ-2000, 2018. 410 с.

70. Красінько В. О. Методи контролю біотехнологічних, фармацевтичних і харчових виробництв : конспект лекцій. Київ : НУХТ, 2019. 252 с.

71. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України, редакція від 15.11.2024 №19. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 01.4.2026).

72. Системи керування безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000:2018, IDT) : ДСТУ ISO 22000:2019. [Чинний від 2019-12-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. IV, 34 с. (Національний стандарт України).

73. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. : у 2 кн. / О. В. Швед та ін. Львів : Львів. політехніка, 2018. Т. 1. 424 с.

74. Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навч. посіб. Суми : Сумський держ. ун-т, 2018. 293 с.

75. Біотехнологія з основами екології : навчальний посібник / І. М. Трохимчук та ін. КОНДОР, 2019. 304 с.

76. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 черв.1991 р. № 1264–XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 30.04.2026).

					162.01.07.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ДОДАТКИ



МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГРАМОТА

нагороджується

СЕРВЕТНИК Роман

за участь у секційному засіданні студентського наукового
товариства кафедри
біотехнології

**XXXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ НОВИХ
ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ»**

Ректор закладу
вищої освіти



Олександр КУХТЕНКО

15 квітня 2026 р. м. Ужгород



Матеріали та методи. Дослідження базується на аналізі наукової літератури щодо біосинтезу індіго. Розглядали традиційні хімічні методи, мікробний синтез у гетеротрофних бактеріях та сучасні підходи з використанням ціанобактерій. Особливу увагу приділяли інженерії *Synechocystis* sp. PCC 6803 шляхом стабільної експресії флавін-вмісної монооксигенази (mFMO) з *Methylophaga aminisulfidivorans*. Оцінювали параметри культивування: фототрофні умови, інтенсивність світла, концентрацію субстрату (індол), вихід індіго, конверсію субстрату та стабільність рекомбінантного штаму. Аналізували також метаболічні шляхи (окиснення індолу до індоксилу з подальшою димеризацією в індіго), масштабованість процесу та екологічні переваги порівняно з хімічним синтезом.

Результати дослідження. Традиційне хімічне виробництво індіго є енерго- та ресурсосним і супроводжується утворенням шкідливих відходів. Мікробний синтез у гетеротрофних бактеріях дозволяє отримувати індіго з глюкози через шлях триптофану та індолу, проте вимагає дорогих органічних субстратів і аерації. Використання ціанобактерій вирішує ці проблеми завдяки фотосинтезу. У дослідженні з інженерним штамом *Synechocystis* sp. PCC 6803, що експресує mFMO, здійснено світлозалежну біотрансформацію індолу в індіго. Фермент використовує NADPH і молекулярний кисень (генерований фотосинтезом) для окиснення індолу до індоксилу, який спонтанно димеризується в індіго. Оптимізація умов (інтенсивність світла, концентрація індолу, час інкубації) дозволила досягти виходу 112 мг/л індіго з конверсією індолу до 86 %. Штам продемонстрував стабільність експресії гена та ефективне використання світлової енергії для регенерації кофакторів. Перевагами ціанобактеріальної платформи є зниження вуглецевого сліду, відсутність потреби в органічних джерелах вуглецю, простіша аерація (кисень виробляється *in situ*) та потенціал масштабування у фотобіореакторах. Обмеженнями залишаються токсичність індолу для клітин, відносно низький титр порівняно з оптимізованими *E. coli* системами та необхідність подальшої генетичної оптимізації для прямого біосинтезу з CO₂ без додавання індолу.

Висновки. Мікробний синтез індіго із використанням генетично модифікованих ціанобактерій, зокрема інженерного штаму *Synechocystis* sp. PCC 6803, що експресує флавін-вмісну монооксигеназу, є перспективним екологічно чистим підходом, який дозволяє отримувати біоіндіго за рахунок світлової енергії з високою конверсією субстрату та мінімальним вуглецевим слідом. Подальша оптимізація метаболічних шляхів, підвищення толерантності до індолу та масштабування у фотобіореакторах відкриває можливості для створення стійкого, «зеленого» виробництва індіго як альтернативи хімічному синтезу для текстильної промисловості.

АНАЛІЗ ФЕРМЕНТАЦІЇ ГІДРОЛІЗАТІВ СОЄВОГО БІЛКА МОЛОЧНОКИСЛИМИ БАКТЕРІЯМИ ТА ДРІЖДЖАМИ

Серветник Р.А.

Науковий керівник: Калюжняя О.С.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

kalyuzhnaya.o.s@gmail.com

Вступ. Соевий білок, зокрема концентрат і ізолят з знежиреного соєвого борошна, є цінним джерелом повноцінного білка з збалансованим амінокислотним складом і широко використовується як альтернатива тваринним білкам. Гідролізати соєвого білка отримують

ферментативним гідролізом і мають покращені функціональні властивості (розчинність, емульгуючу здатність, біологічну доступність), а також проявляють антигіпертензивну та антиоксидантну активність. Однак їхнє широке застосування обмежується наявністю небажаних ароматів – «страляного», «бобового» та гіркого смаку. Ферментація з використанням молочнокислих бактерій (МКБ) та дріжджів дозволяє суттєво покращити ароматичний профіль завдяки ферментативним реакціям (протеази, ліпази, естерази) та утворенню вторинних метаболітів (альдегідів, спиртів, естерів, кислот). Особливо перспективним є поєднання галофільної МКБ *Tetragenococcus halophilus* та дріжджів *Zygosaccharomyces rouxii*, які характерні для традиційних ферментованих соєвих продуктів.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз впливу ферментації гідролізатів соєвого білка молочнокислими бактеріями *Tetragenococcus halophilus* та дріжджами *Zygosaccharomyces rouxii* на леткі ароматичні сполуки (VFCs), сенсорні характеристики та загальну якість продукту, а також порівняння одночасної та послідовної інокуляції.

Матеріали та методи. Дослідження базується на аналізі наукової літератури та експериментальних даних щодо ферментації соєвих білків.

Результати дослідження. Соєвий білок, зокрема концентрат і ізолят соєвого білка, отримують переважно з знежиреного соєвого борошна, яке є економічно вигідним і ефективним джерелом харчового білка. Завдяки збалансованому амінокислотному складу та високій харчовій цінності соєвий білок широко використовується як альтернатива тваринним білкам. Для розширення сфер застосування соєвий білок піддають подальшій обробці – ферментативному або хімічному гідролізу, мікробній ферментації, термічній обробці або імітації шлунково-кишкового травлення – з метою отримання гідролізатів соєвого білка. Отримані гідролізати характеризуються покращеними функціональними властивостями, а також проявляють біологічну активність, зокрема антигіпертензивну та антиоксидантну дію. Актуальним завданням є розробка ефективних технологічних підходів для покращення смако-ароматичного профілю гідролізатів соєвого білка. Серед існуючих методів застосовують ферментативний гідроліз, фізичну та хімічну обробку, адсорбцію активованим вугіллям, а також мікробну ферментацію. У різноманітних дослідженнях показано, що ферментація сприяє накопиченню амінокислот умамі, солодких амінокислот та органічних кислот, завдяки чому покращуються смакові характеристики гідролізатів, зокрема умамі та солодкість. Мікробна ферментація є потужним інструментом модифікації смаку та аромату харчових продуктів, у тому числі зернових і бобових, завдяки ферментативній активності мікроорганізмів та утворенню вторинних метаболітів. Молочнокислі бактерії (МКБ) розщеплюють білки, жири та вуглеводи з утворенням ключових ароматичних сполук – альдегідів, спиртів, естерів і кислот. Це відбувається завдяки синтезу ферментів (протеаз, ліпаз, естераз, редуктаз), які гідролізують білки до пептидів і вільних амінокислот. Крім того, МКБ здатні продукувати біологічно активні речовини, зокрема біоактивні пептиди та фенольні метаболіти. Важливу роль у ферментації соєвих продуктів відіграють також галофільні ароматичні дріжджі, такі як *Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis* та інші. Вони модифікують вуглеводи, сприяють біосинтезу естерів, спиртів та інших летких ароматичних сполук і надають ферментованим продуктам характерного смаку та текстури. Зокрема китайськими дослідниками проаналізована ферментація з *T. halophilus* та *Z. rouxii*, що значно підвищило різноманітність і концентрацію летких ароматичних сполук. Загалом ідентифіковано 150 сполук, у ферментованих зразках суттєво зросла кількість спиртів (наприклад, 3-метил-1-бутанол, етанол), кислот, естерів та сірковмісних сполук, тоді як вміст альдегідів і кетонів значно знизився. Послідовна інокуляція виявилася ефективнішою за

одночасну, забезпечивши вищий вихід естерів та кращий ароматичний профіль. Сенсорний аналіз підтвердив зниження «жирного» та «бобового» присмаку та посилення ароматичного, карамельного, кислого та загального аромату.

Висновки. Ферментація гідролізатів соєвого білка молочнокислими бактеріями *Tetragenococcus halophilus* та дріжджами *Zygosaccharomyces rouxi* є ефективним біотехнологічним підходом для покращення ароматичного профілю продукту: значно підвищується кількість приємних летких сполук (спирти, естери, кислоти), знижується вміст небажаних альдегідів і кетонів, а також покращуються сенсорні властивості. Отримані дані підтверджують перспективність використання поєднання МКБ та дріжджів для створення високоякісних ферментованих соєвих білкових продуктів з покращеними органолептичними характеристиками та відкривають можливості для подальшої оптимізації технології в промисловому виробництві.

EWINGELLA AMERICANA: БАКТЕРІАЛЬНИЙ ДЕСАНТ, ЩО ЗНИЩУЄ ПУХЛИНИ ЗСЕРЕДИНИ

Середа Ю.Ю.

Науковий керівник: Антоненко О.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна
uliasereda08@gmail.com

Вступ. Традиційно роль мікробіоти в онкології пов'язують з імуномодуляцією або процедурою трансплантації фекальної мікробіоти. Проте нові дослідження зосередилися на штамі *Ewingella americana* (*E. americana*), виділеному з кишечника японської деревної жаби (*Dryophytes japonicus*). Експерименти на мишах із колоректальним раком продемонстрували, що одноразова ін'єкція цих бактерій спричиняє повне зникнення пухлини.

Мета дослідження. Вивчити подвійний механізм дії бактерії *E. americana* в терапії колоректального раку, що полягає у селективній колонізації гіпоксичного мікросередовища пухлини та активації системної імунної відповіді організму.

Матеріали та методи. У рамках роботи було використано інформацію, доступну через мережу Інтернет, а також дані спеціальних підручників і періодичних видань. При дослідженні використовувались наукові методи: аналіз, класифікація, узагальнення.

Результати дослідження. Дослідження кишкового мікробіому нижчих хребетних відкриває нові горизонти в онкології, демонструючи, що природні бактерії можуть бути ефективнішими та безпечнішими за генетично модифіковані аналоги. Ключовим відкриттям став штам *Ewingella americana*, виділений з кишечника японської деревної жаби. Ця бактерія діє за подвійним принципом: вона вибірково накопичується в бідних на кисень (гіпоксичних) зонах пухлини, де безпосередньо знищує ракові клітини, і водночас провокує потужну імунну відповідь організму. Завдяки активації Т-лімфоцитів, нейтрофілів та вивільненню захисних білків (цитокінів), імунна система починає самостійно й агресивно атакувати новоутворення.

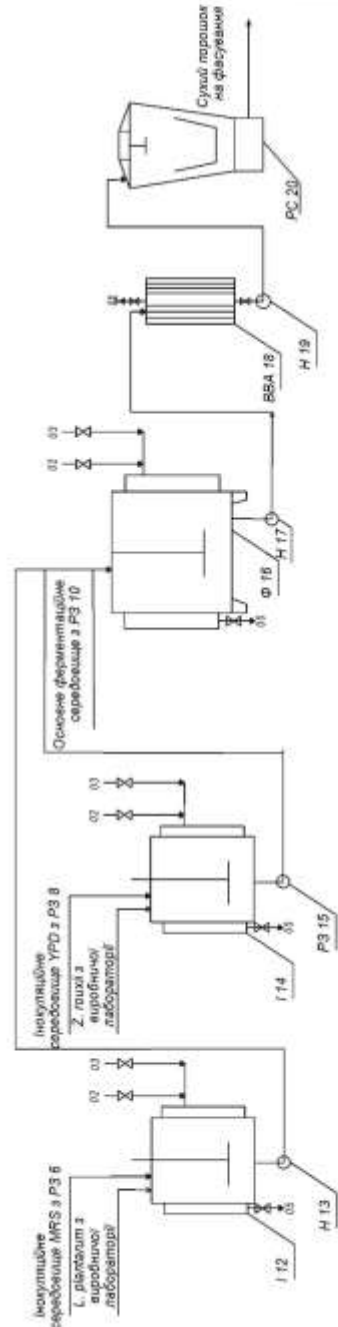
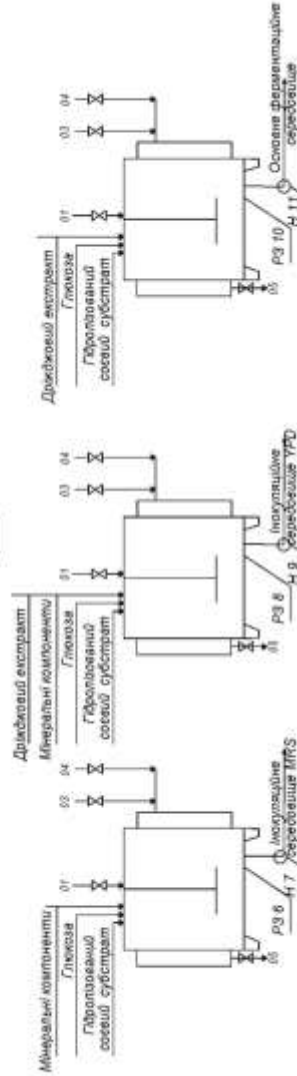
Експерименти на моделях колоректального раку показали вражаючі результати: одноразове введення *E. americana* призвело до повної регресії пухлини і 100% виживаності, що значно перевищило показники стандартної імунотерапії та хіміотерапії. При цьому бактерія продемонструвала винятковий профіль безпеки. Вона швидко виводиться з крові, концентруючись лише в тканинах пухлини, і повністю зникає з організму протягом доби, не

КЭУ 000.00.10.00.001



Таблица условных обозначений

Условное обозначение	Наименование объекта
01	Вода очищенная
02	Вода горячая
03	Вода холодная
04	Безвредный газ
05	Воздух
06	Пара
07	Стеклопакет
08	Вакуум
09	Вода оборотная
10	Канализация
11	Вентилятор



Перечень элементов схемы

Обозначение	Наименование	Кол-во
ТБ 1	Противоприливный насос	1
ВМ 2	Вентилятор	1
НЗ 5, 7, 9, 11, 13	Насос	9
РЗ 4, 6, 8, 10	Реактор-лишувач	4
Г 12, 14	Гидролизатор	2
Ф 16	Ферментер	1
ВВА 18	Вакуум-лишувач	1
РС 20	Розливальне судно	1

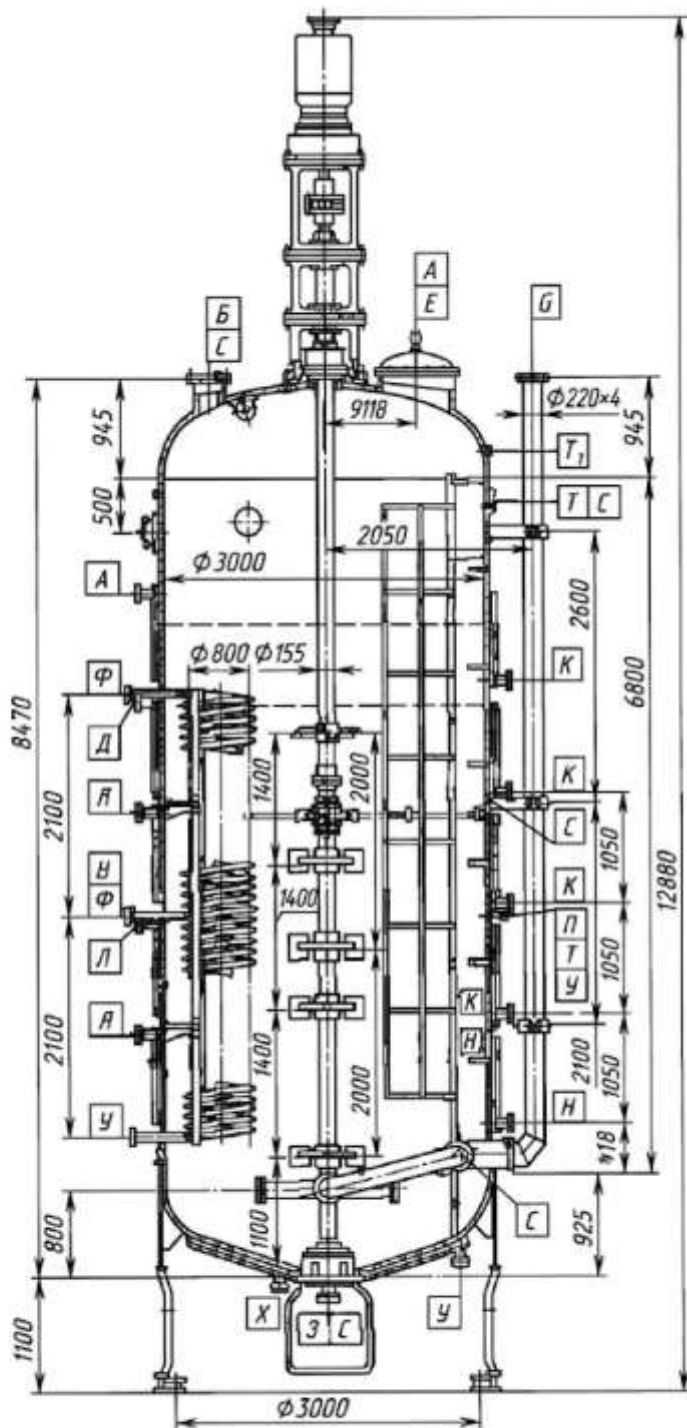
162.01.07.00.000 АСА

Датум розробки	Датум затвердження	Вид проекту	Вид документа
17.11.17	17.11.17	1	1.1

Одобрено: [Signature]

Курсант: [Signature]





- Позначки до списку:*
- A Сесламе мікро
 - Б Штуцер для вихідної трубки
 - В Штуцер для підключення насоса
 - Г Штуцер для циркуляції (тіла в КВ)
 - Д Штуцер для вентиляційної трубки (показати)
 - Е Штуцер рівноваги
 - З Штуцер для підключення насоса
 - У Штуцер для вентиляційної трубки / кофору зрід
 - Х Замковий штуцер (векний насос)

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ
 КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ

		162.01.07.00 000 B3			
		Ферментер		1.20	
		Висота (мм)		12880	
		НФФУ		БТ	
		Кабребра БТ		Бориспіль	