

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

КОВАЛЬЧУК СВІТЛАНА СТЕПАНІВНА

УДК 663.531:577.152:663.12

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ БРАЖОК
ІЗ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ**

05.18.05 – технологія цукристих речовин та продуктів бродіння

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Мудрак Тетяна Омелянівна,
Національний університет харчових технологій
Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри
біотехнології продуктів бродіння і виноробства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Олійнічук Сергій Тимофійович,
Інститут продовольчих ресурсів Національної академії
аграрних наук України, завідувач відділу технології
бродильних виробництв

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Маринченко Лоліта Вікторівна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри біоінформатики факультету біотехнології
і біотехніки

Захист дисертації відбудеться **27 червня 2019 року** о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.04 у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А– 311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий 27 травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, к.т.н.

М.В. Карпутіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із основних завдань спиртової галузі для входження України до Європейської спільноти є забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної продукції. Нові напрямки розвитку технології спирту вимагають підвищення концентрацій сухих речовин сусла; проведення бродіння за підвищених температур та концентрацій спирту в бражці; забезпечення зменшення собівартості спирту за рахунок економії сировини та енергоресурсів. У таких умовах необхідні високопродуктивні раси дріжджів із підвищеною осмофільністю, термотолерантністю та бродильною активністю.

Значні теоретичний і практичний внески у розвиток та удосконалення технологій, які базуються на глибокій переробці зернової сировини в спиртовому виробництві, внесли вітчизняні вчені: П.Л. Шиян, С.Т. Олійнічук, В.В. Сосницький, Л.В. Левандовський, В.О. Маринченко та інші.

Однак, у застосуванні технології зброджування сусла високих концентрацій виникає ряд проблем, пов'язаних з підвищенням в'язкості замісів, неповним гідролізом складових сировини. Розробка інноваційних технологій приготування і зброджування висококонцентрованого зернового сусла із використанням нових фізіологічно активних рас спиртових дріжджів сприяє збільшенню ефективності переробки сільськогосподарської сировини на спирт, зниженню утворення відходів виробництва — післяспиртової барди.

Підвищення температури зброджування та осмотичного тиску середовища веде до створення екстремальних умов для життєдіяльності дріжджів. Для зброджування сусла високих концентрацій велике значення має фізіолого — біохімічна активність дріжджів. Одним із питань є вплив макро— та мікроелементів на дріжджові клітини для зброджування сусла високих концентрацій, що вивчено недостатньо.

Дослідження пов'язані з пошуком нових штамів — продуцентів етилового спирту та розробка технології висококонцентрованих бражок із зернової сировини є актуальним питанням для спиртової галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з Держбюджетною тематикою науково — дослідних робіт НУХТ: «Дослідження та розробка енергозберігаючої технології паливного біоетанолу та біогазу в умовах України» № 0111U010379.

Автор безпосередньо брала участь в експериментальних дослідженнях, опрацюванні та узагальненні отриманих результатів, проведенні промислових випробувань та розробленні нормативно — технічної документації.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є дослідження біоконверсії зернової сировини в етиловий спирт та удосконалення технології висококонцентрованої бражки.

Вибір мети досліджень зумовив необхідність вирішення таких завдань:

- провести багатоступеневу селекцію раси з покращеними властивостями для одержання висококонцентрованих бражок із зернової сировини;
- визначити вплив концентрації сухих речовин (СР) сусла із зернової сировини на ультратонку структуру дріжджових клітин досліджуваних рас;

- встановити необхідну концентрацію амінного та аміачного азоту для культивування осмофільних та термотолерантних дріжджів;
- визначити композицію та концентрацію ферментних препаратів (ФП) для зброджування суслу високих концентрацій;
- дослідити вплив технологічних параметрів на біосинтетичні властивості осмофільних та термотолерантних рас дріжджів;
- розробити технологічні параметри зброджування суслу високих концентрацій і отримати бражку з підвищеним вмістом спирту;
- визначити вплив металів у нано– та іонній формі на процес культивування виробничих дріжджів та зброджування суслу високих концентрацій.

Об'єкт досліджень — технологія спиртової бражки з використанням осмофільного термотолерантного штаму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* ДО–16 для зброджування суслу високих концентрацій із зернової сировини.

Предмет досліджень — закономірності впливу параметрів та технологічних прийомів на технологію висококонцентрованих бражок із зернової сировини із застосуванням нових рас дріжджів.

Методи досліджень — хімічні, фізико – хімічні, газо – хроматографічні, статистичні із використанням сучасних приладів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна полягає в експериментальному обґрунтуванні закономірностей метаболізму дріжджів *S. cerevisiae* в умовах їх культивування на середовищах з високим вмістом сухих речовин та утворення етилового спирту в бражці.

Селекціоновано нову расу – продуцент етанолу з високою осмофільністю та спиртоутворюючою здатністю і спиртостійкістю, що сприяє інтенсифікації біохімічних процесів трансформації цукрів в умовах виробництва спирту.

Проведено скринінг спиртових рас дріжджів по стійкості до осмотичного, температурного, етанольного та кислотного стресу. Встановлено, що раса *S. cerevisiae* ДО–16 має переваги за цими показниками над іншими відомими спиртовими расами та забезпечує вміст спирту в бражці до 16 % об.

Отримали подальший розвиток дані щодо витрат ФП на ступінь біокаталізу складових зерна та раціональних параметрів культивування виробничих дріжджів в умовах зброджування суслу високих концентрацій.

На основі цитологічних досліджень внутрішньоклітинної структури дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16, ДО–11, К–81, XII отримано дані щодо підтвердження зв'язку між утворенням глікогену в дріжджових клітинах та концентрацією СР суслу.

Отримали подальший розвиток уявлення щодо ефективності використання цитратів металів, одержаних за аквананотехнологією, як активаторів спиртових дріжджів, для підвищення фізіологічного – біохімічної активності дріжджових клітин для зброджування суслу високих концентрацій.

Практичне значення отриманих результатів. Селекціоновану расу депоновано в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Раса дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 дає змогу зброджувати сусло концентрацією сухих речовин (СР) до 32 % за рН від 3,0 до 6,0 та підвищених температур.

Розроблено технологічну інструкцію та впроваджено у виробництво технологію виробничих дріжджів та зброджування суслу термотолерантною осмофільною расою дріжджів *S. cerevisiae* ДО-16 з використанням додаткового живлення для дріжджів у вигляді цитратів металів (цинку та магнію) в умовах ТОВ «ФАЗОР», смт. Кожанка, Фастівський район, Київська область, 2018 р.

Зменшення розрахункової собівартості 1 дал спирту за рахунок впровадження запропонованої технології становить 9,2 грн/дал.

Запропоновано математичну модель для визначення оптимальних технологічних параметрів зброджування суслу високих концентрацій.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі сучасного стану проблеми, загальній постановці задач і розробленні програм експериментів, проведенні лабораторних і промислових досліджень, узагальненні результатів, створенні математичної моделі розрахунку оптимальних технологічних параметрів зброджування суслу високих концентрацій, підготовці та оформленні наукових публікацій за темою дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи оприлюднені на 80-й, 81-й, 82-й та 83-й Міжнародних наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті (Київ, 2014 – 2017 р.); III Міжнародній науково – технічній конференції «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование производство» (Воронеж, 2016 р.); 8 Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well – being (CeFood 2016 p.), «Актуальные вопросы современной науки» (Одеса, 2016 р.), Сборник статей «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (Минск, 2017 р.); матеріалах Міжнародної науково – технічної конференції. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції» (Київ, 2017 р.); The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Brno, The Czech Republik, 2018 p.), «Advances of science proceedings of articles the international scientific conference» Czech Republik. Karlovy Vary – Ukraine Kyiv (Karlovy Vary, Czech Republik, 2018 p.); Матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково – практичної конференції «Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва та пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності» (Київ, 2018 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 18 друкованих праць. У тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях, з них 1 стаття у виданні іноземних держав, 4 статті у виданнях України, що включені до наукометричних баз, 1 патент України на корисну модель та 12 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури, додатків. Роботу викладено на 170 сторінках друкованого тексту, 33 рисунках і 24 таблицях. Список використаних літературних джерел включає 177 найменувань, з яких 50 – англomовних.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, зв'язок із науковими програмами, визначено мету, завдання, предмет, об'єкти та методи

дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Зазначено особистий внесок автора та надано відомості про апробацію результатів роботи та публікації.

У першому розділі «Проблеми та перспективи технології зброджування суслу високих концентрацій» розглянуто актуальні проблеми зброджування суслу високих концентрацій. Наведено дані щодо використання ферментних препаратів для біокаталізу зернової сировини для зброджування суслу високих концентрацій. Окреслено основні фактори, що впливають на активність амілолітичних ферментів.

Охарактеризовано спиртові дріжджі для зброджування суслу високих концентрацій. Наведено морфологічні та структурні особливості дріжджових клітин. Проаналізовано вплив різних факторів на життєдіяльність дріжджів. Описано перспективи та переваги застосування нанотехнологій в харчовій галузі. Описано вплив мінерального, азотного, фосфорного живлення на метаболізм дріжджів. Викладено сучасні способи зброджування суслу з крохмалевмісної сировини.

На основі літературного огляду визначено основні напрями і задачі досліджень.

У другому розділі «Об'єкти, методи і методика досліджень» наведено характеристику об'єктів і методів досліджень, викладено методики проведення експериментів. Визначення технологічних показників проводили прийнятими в спиртовій галузі методами. Склад летких домішок в бражних дистилатах визначали газохроматографічним методом на газовому хроматографі Кристал – 2000М. Динамічну в'язкість визначали на віскозиметрі Brookfield STCU Project P 209 (USA). Розміри частинок металів визначали на спектрометрі Zeta Sizer Nano (Malvern, Великобританія). Експериментальні дані обробляли за допомогою методів експериментально – статистичного моделювання у програмах MathCad Professional, Statistical, Excel.

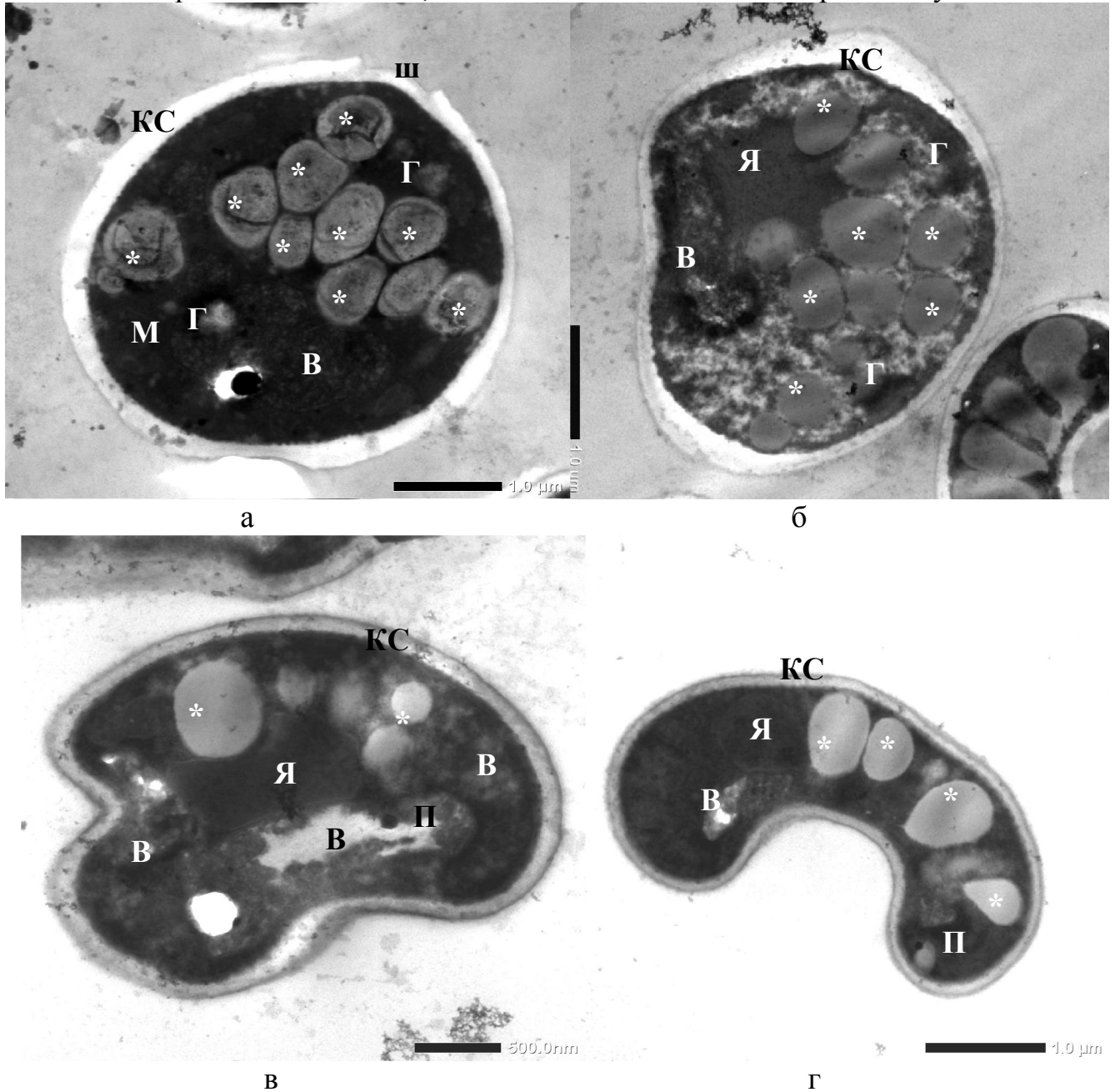
У третьому розділі «Застосування нової осмофільної термотолерантної кислотостійкої раси дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 для зброджування зернового суслу високих концентрацій та визначення раціональних умов її культивування» описано виділення нової спиртової раси дріжджів та порівняння з іншими расами дріжджів, визначено технологічні параметри культивування виробничих рас дріжджів для зброджування суслу високих концентрацій, досліджено можливість застосування металів в нано– та іонній формах для інтенсифікації процесу приготування виробничих рас дріжджів.

Нова раса дріжджів була виділена із осаду після зброджування виноградного суслу, отриманого шляхом переробки винограду без додавання чистої культури дріжджів, який адаптували до висококонцентрованого зернового суслу шляхом багатократного пересіву на стерильне сусло при поступовому підвищенні його концентрації СР.

Для проведення порівняльної характеристики відібрано селекціоновану расу *S. cerevisiae* ДО–16 та відомі раси спиртових дріжджів *S. cerevisiae* ДО–11, К–81, XII.

Проведено електронно – мікроскопічне дослідження внутрішньої структури дріжджових клітин *S. cerevisiae* рас XII, К–81, ДО–11, ДО–16, які культивували на суслі із зернової сировини концентрацією 20 і 28 % СР. У зразках, які культивовані в середовищі з концентрацією 20 % СР, значних відмінностей не спостерігалось.

З підвищенням вмісту СР сусла до 28 % у клітинах *S. cerevisiae* рас XII, К-81 значно зменшувалась кількість глікогену, до повної відсутності порівняно з *S. cerevisiae* рас ДО-11 та ДО-16. Клітини *S. cerevisiae* XII були помітно деформовані, що свідчило про несприятливі умови культивування (рис. 1 а, б, в, г). Наявність пероксисом свідчить, що клітини знаходились в стресових умовах.



КС – клітинна стінка, Ш – шрам брунькування, Я – ядро, Г – глікогенові включення, В – вакуоля, М – мітохондрія, (*) – газове включення, П – периксосоми

Рисунок 1 – Ультраструктура дріжджових клітин культивованих на суслі концентрацією 28 % СР раси *S. cerevisiae*: а – ДО-11, б – ДО-16, в – К-81, г – XII

Досліджено вплив рН сусла на культивування виробничих дріжджів різними расами спиртових дріжджів. Сусло підкислювали сірчаною кислотою (х. ч.). За значень рН 2,5; 3,0; 3,5 та 4,0 у раси *S. cerevisiae* ДО-16 концентрація дріжджових

клітин була вищою ніж у досліджуваних рас у 2,5; 1,8; 1,5 та 1,4 рази, відповідно, що підтверджує кислотостійкість селекціонованої раси (рис. 2).

Культивування дріжджів за низьких значень рН забезпечить не тільки необхідну стерильність субстрату, але й високий вміст дріжджових клітин від 220 до 320 млн/см³.

Для визначення стійкості досліджуваних рас до високих температур та концентрації сусла було проведено дослідження по культивуванню дріжджів за температур 30, 32, 35, 38 °С. Досліджували раси спиртових дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16, ДО–11, К–81, XII. Культивування проводили на суслі концентрацією СР 20 та 28 %. Встановлено, що найвища кількість дріжджових клітин синтезувалась за температури 32...35 °С. З підвищенням концентрації СР сусла підвищувалась кількість дріжджових клітин незалежно від раси. Так, при концентрації сусла 28 % СР та за температури культивування 32 °С раса *S. cerevisiae* ДО–16 синтезувала в 1,2 рази більше дріжджових клітин порівняно з расою ДО–11 та в 2,3...3,16 рази більше порівняно з *S. cerevisiae* К–81 та XII. За температури 38 °С у всіх досліджуваних рас концентрація дріжджових клітин знижувалась.

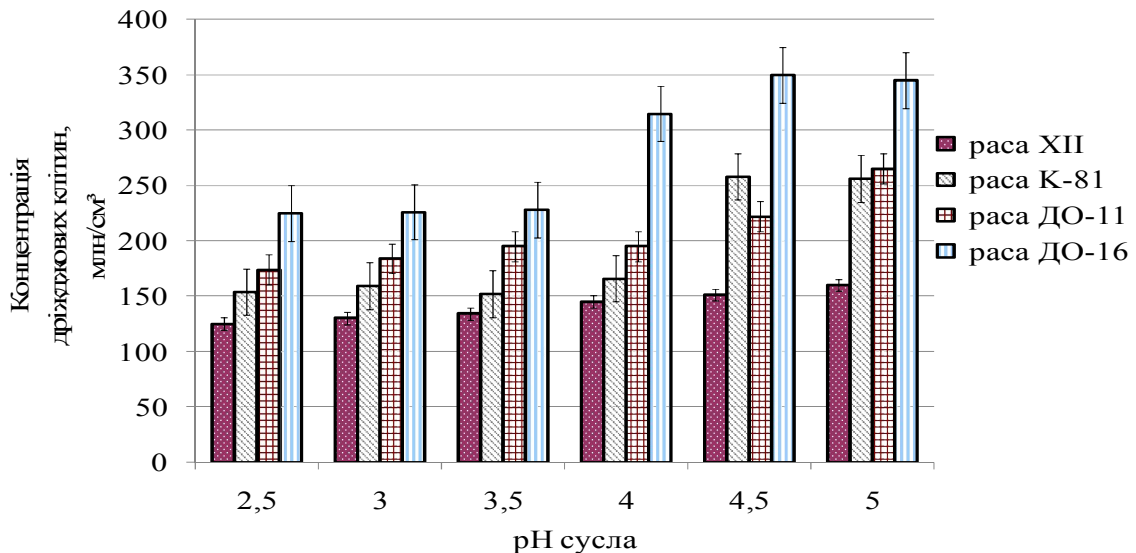


Рисунок 2– Вплив рН сусла на синтез клітин різними расами спиртових дріжджів

У порівнянні з іншими расами *S. cerevisiae* ДО–16 здатна витримувати високу температуру (до 38 °С) та синтезувати найвищу кількість дріжджових клітин, незалежно від температури у процесі культивування дріжджів. Отже, селекціонована раса *S. cerevisiae* ДО–16 має термотолерантні властивості, що дає можливість зброджувати сусло за температури 35 °С і вище.

Для приготування зразків сусла з різними концентраціями 17, 20, 26, 28, 32 % СР використовували зерно кукурудзи крохмалистістю 69,0±0,1 %. Показники зброджування сусла різними расами дріжджів наведено в таблиці 1. Встановлено, що всі досліджені раси за концентрації сусла від 17 до 20 % СР синтезують етанол до його вмісту в зрілій бражці від 8,00 до 10,45 % об. З підвищенням концентрації сусла до 26 % СР кількість, синтезованого расами дріжджів *S. cerevisiae* К–81 та ДО–11, збільшувалась, відповідно до 13,10 та 13,50 % об. (табл. 1). За концентрації СР сусла 28 і 32 % селекціонований штам дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 забезпечував

кращу здатність зброджувати сусло та синтезував до 14,4 і 16,18 % об. етанолу. У разі зброджування сусла концентрацією 28 і 30 % расою XII вміст незброджених вуглеводів перевищував регламентовані показники у 6 та 8 разів відповідно, а расою К-81 у 2...5 раз відповідно.

Досліджено синтез летких органічних домішок етанолу у бражних дистилятах залежно від раси дріжджів. Зброджували сусло з кукурудзи концентрацією СР 28 %. Встановлено, що концентрація ацетальдегіду після зброджування сусла расою XII становила 47,8 мг/дм³, для раси *S. cerevisiae* ДО-16 концентрація цього компоненту знижувалася в 1,6 рази, а у раси *S. cerevisiae* ДО-11 знижувалась у 1,2 рази. Концентрація вищих спиртів після зброджування сусла расою ДО-16 була нижчою на 10,6 % порівняно з XII, а в порівнянні з расами К-81 та ДО-11 на 7,4 та 10,3 % відповідно. Для складних естерів спостерігали аналогічну тенденцію, що характеризує біосинтетичні властивості дріжджових клітин селекціонованої раси.

Таблиця 1 – Технологічні показники бражки при використанні різних рас дріжджів

№ з.п.	Раси дріжджів	Концентрація сусла СР, %	Показники зрілої бражки				
			рН, одиниць	Кислотність, град.	Концентрація етанолу, % об.	Вміст незброджених вуглеводів, г/100 см ³	Вміст нерозчиненого крохмалю, г/100 см ³
1	XII	17±0,2	4,80±0,02	0,49±0,02	8,00±0,03	0,15±0,02	0,08±0,01
		20±0,2	4,75±0,02	0,49±0,02	10,43±0,03	0,34±0,02	0,10±0,01
		26±0,2	4,75±0,02	0,49±0,02	12,80±0,03	0,99±0,02	0,12±0,01
		28±0,2	4,95±0,02	0,49±0,02	12,40±0,03	2,90±0,02	0,25±0,01
		32±0,2	4,95±0,02	0,48±0,02	12,86±0,03	3,65±0,02	0,42±0,01
2	К-81	17±0,2	4,75±0,02	0,49±0,02	8,03±0,03	0,14±0,02	0,08±0,01
		20±0,2	4,80±0,02	0,50±0,02	10,45±0,03	0,32±0,02	0,09±0,01
		26±0,2	4,90±0,02	0,50±0,02	13,10±0,03	0,59±0,02	0,12±0,01
		28±0,2	4,90±0,02	0,50±0,02	13,55±0,03	1,02±0,02	0,15±0,01
		32±0,2	4,70±0,02	0,49±0,02	14,18±0,03	2,34±0,02	0,18±0,01
3	ДО-11	17±0,2	5,00±0,02	0,49±0,02	8,05±0,03	0,14±0,02	0,08±0,01
		20±0,2	4,95±0,02	0,48±0,02	10,45±0,03	0,32±0,02	0,09±0,01
		26±0,2	4,60±0,02	0,48±0,02	13,10±0,03	0,37±0,02	0,12±0,01
		28±0,2	5,10±0,02	0,48±0,02	14,20±0,03	0,48±0,02	0,16±0,01
		32±0,2	5,50±0,02	0,49±0,02	15,50±0,03	0,87±0,02	0,16±0,01
4	ДО-16	17±0,2	4,75±0,02	0,49±0,02	8,05±0,03	0,12±0,02	0,08±0,01
		20±0,2	4,95±0,02	0,48±0,02	10,45±0,03	0,32±0,02	0,09±0,01
		26±0,2	4,90±0,02	0,49±0,02	13,50±0,03	0,39±0,02	0,10±0,01
		28±0,2	4,90±0,02	0,50±0,02	14,40±0,03	0,43±0,02	0,12±0,01
		32±0,2	4,75±0,02	0,50±0,02	16,18±0,03	0,69±0,02	0,15±0,01

Подальші дослідження підбору раціональних параметрів культивування та зброджування суслу високих концентрацій проводили з використанням селекціонованої раси *S. cerevisiae* ДО-16.

Одним з шляхів інтенсифікації процесу культивування дріжджів є використання препаратів на основі наночастинок металів – водних дисперсних систем біогенних препаратів. Для досліджень використовували наночастинки водних дисперсій із розмірами: Cu – 200 нм, Mn – 180 нм, Zn – 30 нм, Fe – 200 нм, Mg – в вигляді мікрофракцій. Аналіз отриманих даних показав, що за використання наночастинок у концентрації 2 мкг/см³ спостерігали більшу кількість дріжджових клітин порівняно з концентраціями 10 та 20 мкг/см³. Найбільший вміст дріжджових клітин спостерігали за використання наночастинок металів Zn та Mg – 380 і 420 млн/см³, відповідно. Одночасне використання вищезазначених металів у наноформі дало змогу отримувати концентрацію дріжджових клітин від 370 до 480 млн/см³.

Подальші дослідження були спрямовані на визначення впливу іонів Zn²⁺ та Mg²⁺ на інтенсифікацію процесу культивування виробничих дріжджів. Як джерело вказаних металів використовували солі ZnSO₄ та MgSO₄ у кількості 40, 50 та 60 г/м³ суслу з його концентрацією 28 % СР. Встановлено, що у разі сумісного внесення 50 г/м³ іонів металів Zn²⁺, Mg²⁺ на стадії культивування дріжджів їх вміст підвищувався до 370 млн/см³ (рис. 3). Підвищення концентрації іонів металів до 60 г/м³ суттєво не впливало на синтез дріжджів.

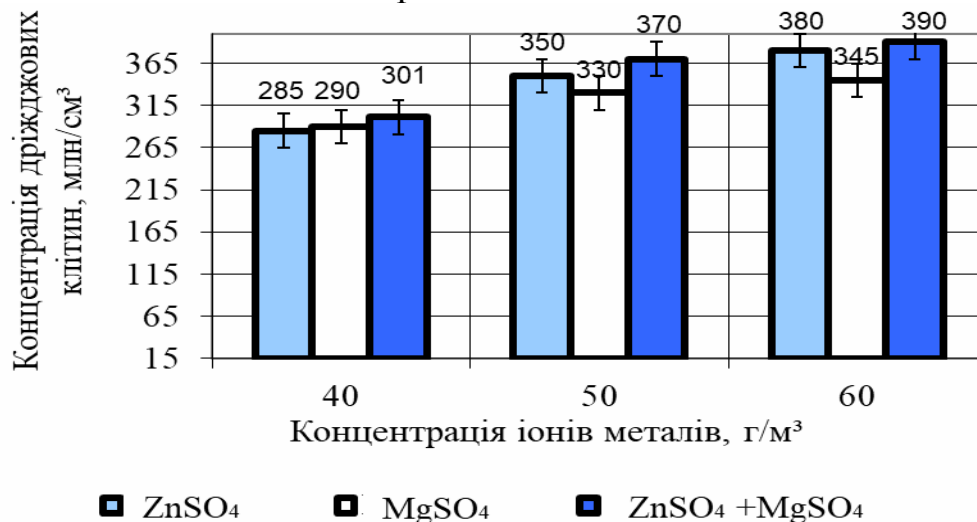


Рисунок 3 – Вплив іонів металів Zn²⁺ та Mg²⁺ на синтез дріжджових клітин у процесі культивування

Вітчизняними вченими розроблено технологію одержання цитратів металів за аквананотехнологією. Досліджено вплив цитратів металів на культивування виробничих дріжджів. В роботі культивування виробничих дріжджів проводили на суслі концентрацією 28 % СР. Застосовували цитрати цинку, магнію, марганцю, міді, заліза, молібдену за концентрації від 0,02 до 0,11 г/м³. Збільшення концентрації дріжджових клітин до 430...450 млн/см³ спостерігали за вмісту цитрату цинку та магнію 0,07 г/м³. Подальше збільшення вмісту цитратів не давало відчутних результатів (рис. 4).

Вплив цитратів обумовлений тим, що вони входять до каталітичних і структурних центрів великого масиву білків, що узгоджується з літературними даними. Зокрема, цинк входить до структури ферментів.

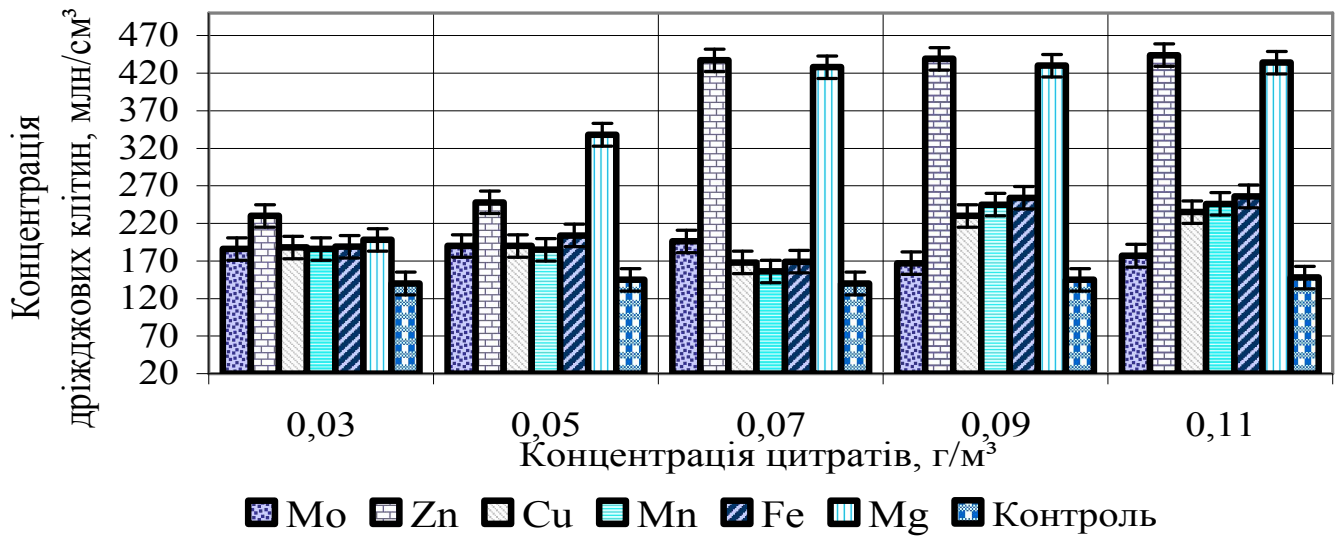


Рисунок 4 – Вплив цитратів металів на культивування дріжджів

Цитрати в порівнянні з сульфатами та наноформою металів мають перевагу, адже є більш біодоступною формою для засвоєння дріжджовими клітинами. А також стійкою системою в порівнянні з наноформою, що має практичне значення при застосуванні в промислових умовах. Проведено дослідження по застосуванню цих металів на стадії культивування дріжджів при багаторазовому використанні в дріжджанках. Встановлено, що додавання металів в нано– та іонній формах на стадії культивування дріжджів потрібно проводити циклічно у послідовності: 3 цикли з мінеральним живленням, і стільки ж – без використання мінерального живлення.

Вплив азотного живлення на синтез дріжджових клітин досліджували шляхом внесення в сусло амінокислоти – гліцину (як джерела амінного азоту). В дріжджове сусло вносили гліцин до концентрації амінного азоту від 0,3 до 1,2 г/дм³.

В процесі культивування дріжджів з підвищенням концентрації амінного азоту в суслі зростала концентрація дріжджових клітин на 40...50 % порівняно з контролем залежно від концентрації СР сусла. Однак, підвищення концентрації амінного азоту більше ніж 0,7 г/дм³ не приводило до суттєвого підвищення приросту клітин. Проведено порівняльні дослідження з визначення концентрації сечовини, яку вносили в сусло в кількості від 400 до 900 г/м³ за концентрації СР сусла 20 та 28 %. При збільшенні концентрації азотного живлення в субстраті до 600...800 г/м³ концентрація дріжджових клітин зростала на 40...60 % і становила 260 і 430 млн/см³ залежно від вмісту сухих речовин у суслі. Додавання сечовини у субстрат вище 800 г/м³ сприяло незначному підвищенню синтезу дріжджів.

У четвертому розділі «Підбір оптимальних композицій ферментних препаратів для гідролізу біополімерів зерна для зброджування сусла високих концентрацій». Проведено дослідження по впливу різних доз ФП α -амілази Amylex 4T та глюкоамілази Diazum TGA на біоконверсію сусла високих концентрацій.

За концентрації суслу 20 % СР отримали бражку з відмінними показниками незброджених вуглеводів (від 0,23 до 0,25 г/100 см³ бражки) та нерозчиненого крохмалю (від 0,08 до 0,07 г/100 см³ бражки) при дозуванні α -амілази – 0,4 та 0,8 од. АЗ/г крохмалю і глюкоамілази – 5,0...10 од. ГЛЗ/г крохмалю (рис. 5).

З підвищенням концентрації СР суслу ці показники зростали і за концентрації 28 % СР вміст незброджених вуглеводів підвищився майже у 2 рази.

За концентрації сухих речовин 30 % незброджені вуглеводи в бражках підвищувались до 0,61...0,65 г/100 см³ бражки, а нерозчинений крохмаль перевищував регламентовані показники на 10...20 %.

Встановлено, що для гідролізу крохмалю сировини витрати α -амілази для замісів 25...30 % СР – 0,8 од. АЗ/г крохмалю, а для 20 % – 0,4 од. АЗ/г крохмалю. Оптимальні витрати глюкоамілазного ФП, незалежно від концентрації суслу, складала 7,5 од. ГЛЗ/г крохмалю (рис. 5).

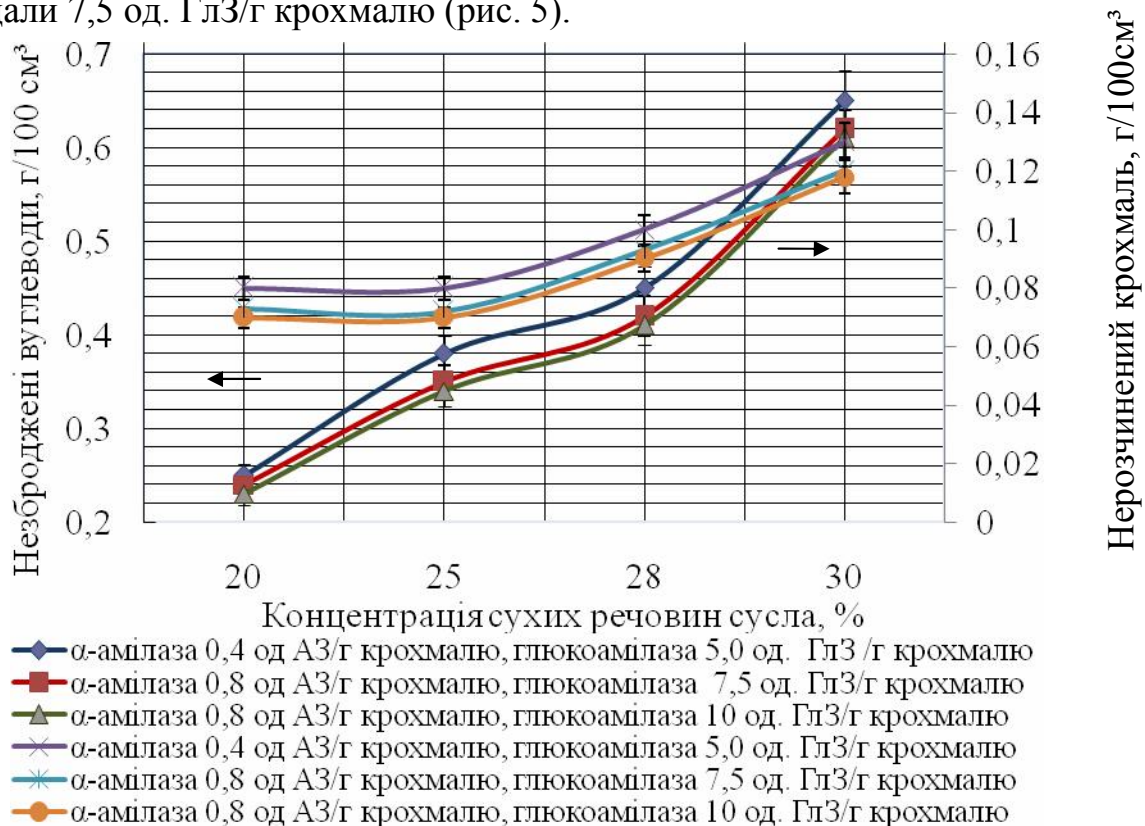


Рисунок 5 – Залежність кількості нерозчиненого крохмалю та незброджених вуглеводів в бражці з кукурудзи від початкової концентрації СР суслу та ферментних препаратів

Під час водно – теплової обробки висококонцентрованих зернових замісів підвищується їх в'язкість, що негативно впливає на подальші стадії технологічного процесу. Ускладнюється доступ ферментів до біополімерів зерна, що уповільнює їх гідроліз до зброджуваних цукрів, збільшуються витрати електроенергії на перекачування напівпродуктів. Тому проведені дослідження впливу ферментних препаратів целюлолітичної та протеолітичної дії на технологічні показники зрілої бражки.

Зброджували зразки суслу з кукурудзи концентрацією 25...30 % СР. Крохмалистість кукурудзи складала $69,0 \pm 0,1$ %.

При проведенні досліджень концентрація протеолітичного ферментного препарату Alphasel AFP становила 0,02...0,05 од. ПрЗ/г сировини, целюлолітичного Laminex 750 – 0,125...0,35 од. ЦЗ/г сировини.

Спільне використання протеази (0,03 од. ПрЗ/г сировини) та целюлази (0,25 од. ЦЗ/г сировини) дозволяє знизити кількість нерозчиненого крохмалю в суслі концентрацією 28 % СР до нормативного рівня (рис. 6). При подальшому збільшенні концентрації СР суслу до 30 % відбувається різке зростання нерозчиненого крохмалю в бражі у 2,0...2,5 рази більше нормативного.

На наступному етапі досліджено вплив ферментних препаратів на реологічні показники суслу. За збільшення початкової концентрації суслу з 25 до 30 % його в'язкість збільшувалась в середньому в півтора рази (рис. 7). Додавання целюлолітичних ферментних препаратів дало змогу знизити в'язкість суслу з 2000...3000 с·П до 1400...1800 с·П залежно від початкової концентрації суслу. Збільшення концентрації целюлолітичних ферментних препаратів з 0,25 до 0,35 од. ЦЗ/г сировини не дало відчутного зменшення в'язкості суслу (рис.7). Тому концентрацію целюлази 0,25 од. ЦЗ/г сировини слід вважати оптимальною.

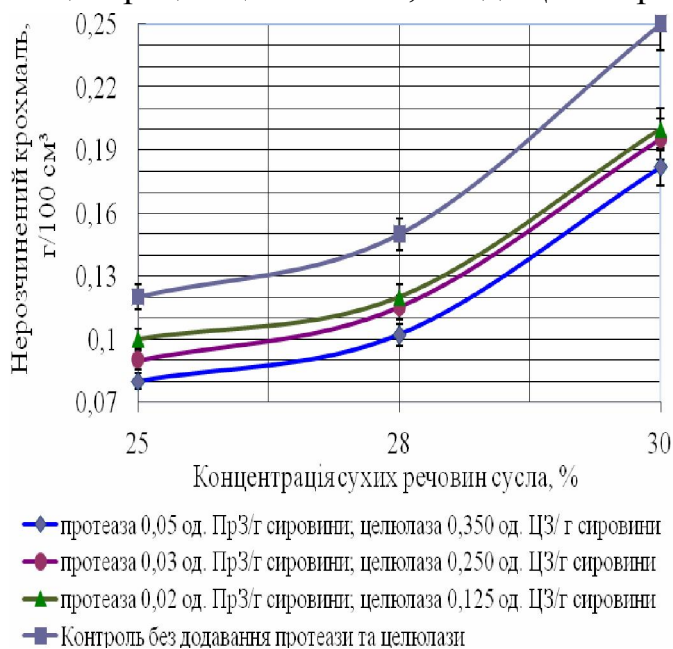


Рисунок 6 – Залежність кількості нерозчиненого крохмалю від витрат ФП протеолітичної дії (од. ПрЗ/г сировини) та фП целюлолітичної дії (од. ЦЗ/г сировини)

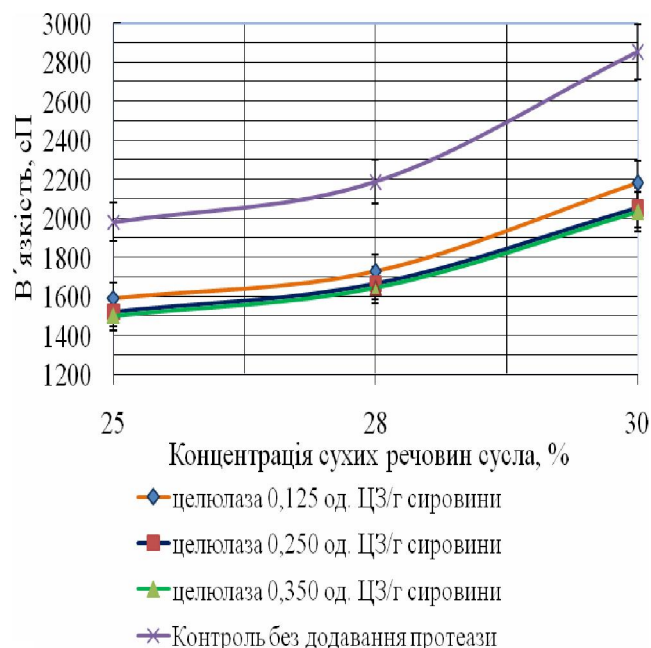


Рисунок 7 – Залежність в'язкості суслу від витрат ФП целюлолітичної дії (од. ЦЗ/г сировини)

У п'ятому розділі «Визначення оптимальних технологічних параметрів зброджування висококонцентрованого суслу» наведено результати досліджень підбору технологічних параметрів зброджування суслу високих концентрацій.

Проводили дослідження по визначенню максимально можливої концентрації СР суслу залежно від виду зернової сировини за умови досягнення нормативного виходу спирту. Збільшення концентрації СР суслу з кукурудзи (до 30 %) дає змогу отримати бражку з концентрацією спирту 15,65 % об., пшениці (до 27 %) –

14,10 % об., жита (до 24 %) – 13,00 % об. Для забезпечення нормативного виходу спирту із 1 т умовного крохмалю максимальний вміст спирту в бражці із кукурудзи становив 14,91 % об., із пшениці – 14,1 % об, із жита – 13,0 % об.

Досліджено вплив початкової концентрації виробничих дріжджів на технологічні показники зрілої бражки. Зброджували сусло із кукурудзи концентрацією сухих речовин 20 та 28 %, дріжджі задавали до концентрації 20, 40, 60 та 80 млн/см³. Максимальний синтез спирту в бражці досягали при внесенні 20 млн/см³ дріжджових клітин в сусло концентрацією СР сусла 20 % і 40 млн/см³ для сусла концентрацією СР сусла 28 %. Підвищення концентрації дріжджових клітин до 60 млн/см³ сприяло незначному підвищенню вмісту спирту в бражці, тому подальше підвищення концентрації дріжджових клітин є недоцільним.

Визначено оптимальну температуру зброджування висококонцентрованого сусла расою дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 (табл. 3). Для зброджування сусла використовували зерно кукурудзи крохмалистістю 69,0±0,1 %. Концентрація замісів становила 28 та 32 %. Зброджування сусла проводили за температури 30, 32, 35 та 37 °С. Дріжджі задавали з розрахунку 40 млн/см³ сусла.

Таблиця 3 – Хіміко – технологічні показники зрілої бражки залежно від температури зброджування

№ з.п.	Концен – трація сухих речовин сусла, %	Темпера – тура, °С	Σ CO ₂ , г/200 см ³	Вміст незброджених вуглеводів, г/100 см ³ бражки		Концен – трація етанолу, % об.
				Незброджені	Нерозчинений крохмаль	
1.	28±0,2	30±1	21,76±0,1	0,46±0,02	0,040±0,01	14,52±0,03
2.	28±0,2	32±1	22,05±0,1	0,32±0,02	0,090±0,01	14,65±0,03
3.	28±0,2	35±1	22,01±0,1	0,39±0,02	0,095±0,01	14,60±0,03
4.	28±0,2	37±1	21,69±0,1	0,61±0,02	0,095±0,01	14,42±0,03
5.	32±0,2	30±1	22,81±0,1	0,71±0,02	0,095±0,01	15,15±0,03
6.	32±0,2	32±1	23,23±0,1	0,59±0,02	0,090±0,01	15,42±0,03
7.	32±0,2	35±1	23,60±0,1	0,59±0,02	0,092±0,01	15,67±0,03
8.	32±0,2	37±1	22,55±0,1	0,72±0,02	0,100±0,01	15,00±0,03
9.	28±0,2	35/30±1	22,28±0,1	0,32±0,02	0,089±0,01	14,77±0,03
10.	32±0,2	35/30±1	24,10±0,1	0,48±0,02	0,089±0,01	16,00±0,03

У разі зброджування сусла за температур 32 та 35 °С синтез етанолу в зрілих бражках був найвищим і складав 14,65 і 14,60 % об. та 15,42 і 15,67 % об., відповідно.

Встановлено доцільність проведення зброджування сусла у дві стадії. На першій стадії (24 години) – зброджування необхідно проводити за температури 35 °С, на другій (48 годин) – за температури 30 °С. За такого режиму в бражках синтезувалось більше етанолу, його концентрація складала 13,7 і 16,0 % об. залежно від концентрації сусла за зниження вмісту незброджених вуглеводів на 7...15 %.

Досліджено вплив цитратів металів, внесених на стадії культивування, на процес зброджування та склад летких домішок в зрілих бражках. Початкова концентрація сусла становила 28 % СР. На стадії культивування виробничих дріжджів застосовували цитрати цинку, магнію, марганцю, міді, заліза, молібдену за їх витрати 0,07 г/м³. Контролем був зразок без додавання цитратів металів.

Як показали результати досліджень, в зразках із додаванням цитратів технологічні показники бражки були кращими порівняно з контролем. Концентрація етанолу в бражках зростала на 1,0...2,0 % відносних (табл. 4). Адже, цинк та магній впливають на метаболічні процеси в клітині. Ці метали сприяють посиленню синтезу ензимів, які виконують окисно–відновні функцію в клітині.

Таблиця 4 – Технологічні показники зрілої бражки залежно від якісного складу цитратів металів, внесених на стадії вирощування виробничих дріжджів

№ з.п.	Цитрати металів	ΣCO_2 , г/200 см ³	Вміст вуглеводів, г/100 см ³					Концент–рація етанолу, % об.
			Загальні	Розчинені	Нерозчин–ний крохмаль	Декстрини	Спиртороз–чинні	
1	Fe ²⁺	20,92±0,1	0,41±0,02	0,34±0,02	0,06±0,01	0,22±0,01	0,090±0,01	13,90±0,03
2	Mn ²⁺	20,91±0,1	0,40±0,02	0,33±0,02	0,06±0,01	0,22±0,01	0,080±0,01	13,90±0,03
3	Mg ²⁺	21,12±0,1	0,34±0,02	0,29±0,02	0,04±0,01	0,25±0,01	0,009±0,01	14,00±0,03
4	Cu ⁺	20,48±0,1	0,45±0,02	0,32±0,02	0,11±0,01	0,18±0,01	0,087±0,01	13,85±0,03
5	Zn ²⁺	21,24±0,1	0,33±0,02	0,25±0,02	0,07±0,01	0,21±0,01	0,007±0,01	14,10±0,03
6	Mo ⁶⁺	20,85±0,1	0,39±0,02	0,30±0,02	0,08±0,01	0,22±0,01	0,050±0,01	13,90±0,03
7	Конт роль	20,77±0,1	0,45±0,02	0,34±0,02	0,09±0,01	0,25±0,01	0,056±0,01	13,80±0,03

За експериментальними даними отримано рівняння регресії, за яким можна розрахувати концентрацію етанолу в бражках:

$$y = -11,3462 + 0,8234 \cdot x_1 + 0,4364 \cdot x_2 - 0,0011 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0055 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0061 \cdot x_2^2,$$

де у – концентрація етанолу;

x₁ – концентрація СР сусла; %;

x₂ – температура зброджування, °С

У шостому розділі «Промислові випробування технології висококонцентрованих бражок із зернової сировини».

Виробничі дослідження, проведені в умовах спиртового виробництва ТОВ «ФАЗОР» (потужність 6000 дал/добу спиртовмісних рідин). На рис. 8 наведено удосконалену технологічну схему технології висококонцентрованої спиртової бражки із зернової сировини.

Технологічною схемою передбачено такі основні стадії: очищення і підготовка сировини; приготування висококонцентрованого замісу; розріджування замісу для отримання сусла концентрацією 25...30 % СР термостабільною α –амілазою у кількості 0,8 од. АЗ/г крохмалю за температури 85...92 °С; оцукрювання розрідженої маси глюкоамілазою з розрахунку 7,5 од. ГлЗ/г крохмалю; гідроліз некрохмальних полісахаридів та білку целюлолітичним ФП – 0,35 од. ЦЗ/г сировини, протеолітичним – 0,05 од. ПрЗ/г сировини; зброджування

сусла осмофільними, термотолерантними дріжджами раси *S. cerevisiae* ДО–16. Початкова концентрація виробничих дріжджів – 40 млн/см³.

Розчини цитратів цинку та магнію задають в дріжджанки в розрахунку 0,07 г/м³, карбамід – 800 г/м³. Зброджування проводять у дві стадії: перша (24 години) – за 35 °С; друга (48 годин)– за 30 °С.

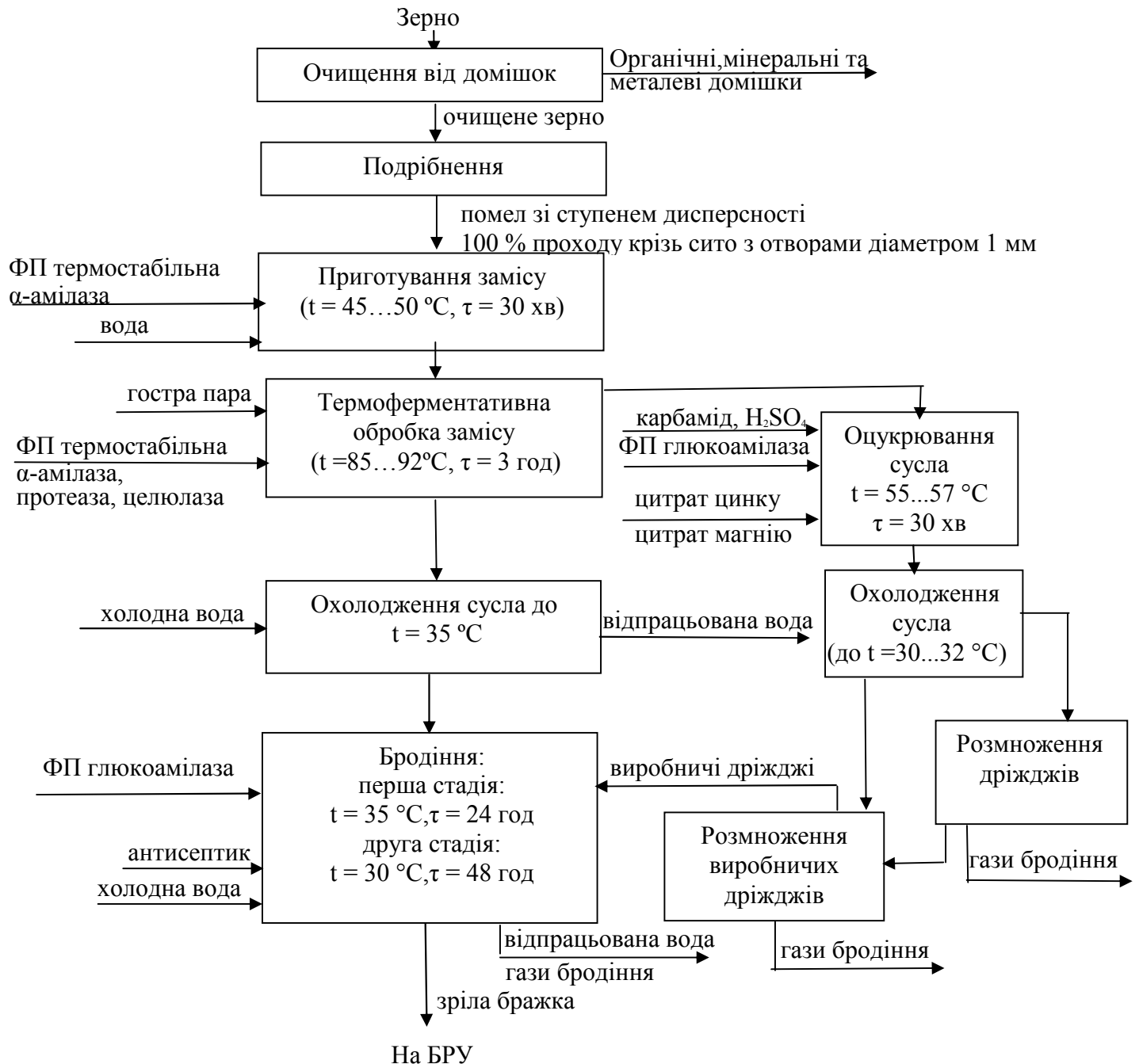


Рисунок 8 – Удосконалена технологічна схема висококонцентрованих бражок із зернової сировини

ВИСНОВКИ

На основі узагальнення даних теоретичних та експериментальних досліджень процесу культивування виробничих дріжджів та зброджування удосконалено технологію висококонцентрованих бражок із зернової сировини.

1. Селекціоновано расу дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16, яка дає змогу зброджувати сусло концентрацією сухих речовин до 32 % за рН від 3,0 до 6,0 та підвищених температур і отримувати спиртову бражку з концентрацією спирту етилового до 16 % об.

2. На основі морфолого – цитологічних досліджень раси дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 доведено її переваги над расами ДО–11, К–81, XII для зброджування сусла високих концентрацій. При культивуванні виробничих дріжджів за концентрації СР 28 % вміст глікогену у клітинах раси *S. cerevisiae* ДО–16 був значно більшим у порівнянні з досліджуваними расами.

3. Встановлено, що при культивуванні спиртових дріжджів на суслі концентрацією 28 % СР і вище необхідною умовою є корегування азотного живлення додатковим внесенням гліцину в кількості 0,7 г/дм³ сусла або карбаміду – 800 г/м³, це дозволить підвищити концентрацію засівних дріжджів до 430 млн/см³ в процесі їх культивування.

4. Доведено, що для ефективного гідролізу біополімерів зернового сусла з концентрацією 28...32 % СР необхідно використовувати дозування ФП амілолітичних: α –амілаза (0,8 од. АЗ/г крохмалю), глюкоамілаза (7,5 од. ГлЗ/г крохмалю), целюлолітичних (0,35 од. ЦЗ/г сировини), протеолітичних (0,05 од. ПрЗ/г сировини). Такий прийом інтенсифікує процес бродіння та збільшує концентрацію етанолу в зрілій бражці на 0,8...1,4 % залежно від концентрації сусла.

5. Встановлено, що при додаванні активаторів фізіологічної активності дріжджів в формі:

- сульфатів цинку та магнію в кількості по 25 г/м³ кожного на стадії культивування дріжджів вміст виробничих дріжджів становив 370 млн/см³;
- цинку та магнію в наноформі, в кількості 2 мкг/см³ концентрація дріжджових клітин становила до 480 млн/см³;
- цитратів цинку та магнію, в кількості 0,07 г/м³ концентрація дріжджових клітин становила до 450 млн/см³.

Додавання активаторів фізіологічної активності дріжджів потрібно проводити циклічно у співвідношенні: 3 цикли культивування з мінеральним живленням, і стільки ж – без живлення.

6. Встановлено, що для ефективного зброджування висококонцентрованого сусла (28...32 % СР) необхідна концентрація засівних дріжджів 40 млн/см³.

З метою інтенсифікації спиртового бродіння зброджування висококонцентрованого сусла необхідно проводити за відповідних температур перша стадія (24 години) – 35 °С; друга (48 годин) – 30 °С, що також сприятиме зниженню втрат вуглеводів на 20...30 %, і в результаті – підвищенню концентрації етанолу в бражці.

7. На основі проведених досліджень доведено, що використання цитратів металів, як біологічно активного стимулятора для дріжджових клітин, дозволило

інтенсифікувати процес зброджування сусла; концентрація етанолу в бражках зростала на 1,5...2,0 %.

8. Ефективність використання розроблених технологічних параметрів підтверджено результатами виробничих випробувань в умовах спиртового виробництва ТОВ «ФАЗОР» смт. Кожанка, Фастівський район, Київська область, 2018 р. Розрахунковий економічний ефект від впровадження технології висококонцентрованої бражки за рахунок економії палива, артезіанської води, зменшення відходів виробництва, зокрема післяспиртової барди становить 141 тис. грн/рік.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Shiyan P, Mudrak T, Kyrylenko R, Kovalchuk S. Effect of nitrogen and mineral composition of the high – concentrated wort made from starch – containing raw materials on the cultivation of yeast. Eastern – European journal of enterprise technologies. 2017 Nov; 6(11):72 – 7. doi:10.15587/1729 – 4061.2017.117357. **(фахове видання, Україна, наукометрична база Scopus).**

2. Kovalchuk S, Shiyan P, Mudrak T, Kuts A, Kyrylenko R. Investigation of the influence of nanoparticles of metals on fermentation of wort of high concentrations. Eureka: Life Sciences. 2017 Dec; 6(12):51 – 6. doi: 10.21303/2504 – 5695.2017.00512. **(закордонне видання, Естонія, наукометрична база Index Copernicus).**

3. Мудрак ТО, Куц АМ, Ковальчук СС, Боярчук ЯА. Селекція та скрінінг рас спиртових дріжджів при зброджуванні висококонцентрованого сусла з крохмалевмісної сировини. Наукові праці НУХТ. 2018 Квіт; 24(2): 216 – 24. doi: 10.24263/2225–2924–2018–24–2–26 **(фахове видання, Україна, наукометрична база Index Copernicus).**

4. Mudrak T, Kuts A, Kovalchuk S, Kyrylenko R, Bondar N. Selection of the complex of enzyme preparation for the hydrolysis of the constituents of grain at the fermentation of the wort of high. Food Science and Technology. 2018 Jul 2;12(2):19 – 25. doi: 10.15673/fst.v12i2.931. **(фахове видання, Україна, наукометрична база Web of Science).**

5. Мудрак ТО, Куц АМ, Кириленко РГ, Ковальчук СС, Пакуляк ХІ, Василів ВП. Удосконалення технології зброджування сусла високої концентрації із крохмалевмісної сировини при використанні цитратів металів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 282. 2018 Квіт. 259 – 68. **(Україна, наукометричні бази Google Scholar, Index Copernicus).**

Тези доповідей та матеріали конференцій

6. Ковальчук С, Лемак О, Мудрак Т, Шиян П. Дослідження впливу додаткових джерел живлення на зброджування концентрованого сусла. Матеріали 80–а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті; 2014 Квіт 10–11; Київ. Київ: Націон. ун–т харчових технологій; 2014, с. 360–1.

7. Савчук Г, Ковальчук С, Кириленко Р, Мудрак Т. Інтенсифікація процесів зброджування сусла шляхом активації спиртових дріжджів. Матеріали 81–а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів. Наукові

здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті; 2015 Квіт 23–24; Київ. Київ: Націон. ун–т харчових технологій; 2015, с. 227–8.

8. Мудрак ТО, Куц АМ, Кириленко РГ, Ковальчук СС Усовершенствование технологии сбраживания суслу высоких концентраций из крохмалсодержащего сырья. Сборник материалов III Международной научно – технической конференции (заочная). Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование производство; 2016 Ноябрь 8; Воронеж. Воронеж: Воронежский государственный ун–т инженерных технологий; 2016 с.92–6.

9. Kuts, T. Mudrak, S. Kovalchuk. Optimizing nitrogen and mineral composition of the highly concentrated mash of raw starch. 8 Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well – being (CeFood 2016) 8 Центральноєвропейський конгрес з харчової науки CEFood – 2016; Трав 23 – 26; Київ. Київ: Націон. ун–т харчових технологій; 2016,с. 314.

10. Мудрак ТО, Ковальчук СС, Пахолюк АС. Підбір оптимальної температури зброджування суслу підвищених концентрацій. Матеріали IV міжнародної науково – практичної конференції. Актуальные вопросы современной науки; 2016 Июнь 03 – 04; Одесса. 2016, с. 78 – 80.

11. Мудрак Т, Куц А, Ковальчук С, Юрченко Ю, Коренчук К. Дослідження синтезу летких домішок спирту при зброджуванні концентрованого зернового суслу. Матеріали 83–а міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті; 2017 Квіт 05 – 06; Київ.: Націон. ун–т харчових технологій; 2017, с. 229.

12. Мудрак ТО, Ковальчук СС, Куц АМ, Кириленко РГ. Исследование влияния минеральных веществ на культивирование и сбраживание концентрированного суслу. Переработка и управления качеством сельскохозяйственной продукции. Сборник статей III Международной научно – практической конференции. 2017 Март 24 – 24; Минск. Минск: Белорусский государственный аграрный технический ун–т; 2017, с.196 – 8.

13. Ковальчук СС, Пакуляк ХІ. Інтенсифікація технології зброджування суслу високих концентрацій. Научный взгляд в будущее. 2017 Лип; Одеса. Одеса: Sworld. 2017, с.23 – 6. doi.: 10.21893/2415–7538.2017–06–2–031.

14. Мудрак ТО, Куц АМ, Бондар МВ, Ковальчук СС. Дослідження та підбір оптимального комплексу ферментних препаратів при зброджуванні суслу високих концентрацій. Матеріали міжнародної науково – технічної конференції. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції; 2017 Лист 07 – 08; Київ. Київ: Націон. ун–т харчових технологій; 2017, с. 77 – 8.

15. Мудрак ТО, Куц АМ, Ковальчук СС. Іноваційна технологія зброджування суслу із крохмалевмісної сировини. Матеріали міжнародної конференції. The international research and practical conferenct. The development of technical sciences: problems and solutions. 2018 Apr.27 – 28; Brno. The Czech Republik. 2018, с. 50 – 3.

16. Мудрак ТО, Куц АМ, Ковальчук СС, Кириленко РГ. Оптимізація технології зброджування висококо нцентрованого суслу високих із крохмалевмісної

сировини Advances of science proceedings of articles the international scientific conference. 2018 Sep 28; Czech Republik. Karlovy Vary – Ukraine Kyiv. 2018, с.1268 – 75.

17. Мудрак ТО, Куц АМ, Ковальчук СС. Удосконалення технології зброджування суслу високих концентрацій Матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково – практичної конференції Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва та пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності; 2018 Вер 13; Київ. Київ: Націон. ун–т харчових технологій; 2018, с. 67–9.

Патент

18. Українець АІ, Шиян ПЛ, Мудрак ТО, Куц АМ, Ковальчук СС, Кириленко РГ, винахідники; Національний університет харчових технологій МОН України, патентовласник. Осмофільний, кислотостійкий штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* ІМВ У – 5099 для мікробіологічного синтезу етилового спирту з крохмалевмісної сировини. Патент на корисну модель № 129706. 2018 Лист 12.

Особистий внесок автора: проведення літературного пошуку і теоретичний аналіз джерел інформації [1–17], підготовка об'єктів досліджень, проведення експериментів, оброблення та узагальнення одержаних результатів [1–10, 12–17], підготовка та оформлення матеріалів до публікацій [1–18].

АНОТАЦІЯ

Ковальчук С.С. Удосконалення технології висококонцентрованих бражок із зернової сировини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття освітнього ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.18.05 – технологія цукристих речовин та продуктів бродіння – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню технології висококонцентрованих бражок з крохмалевмісної сировини, що дає змогу підвищити концентрацію етанолу в бражках, зменшити питомі витрати енергоносіїв.

Селекціоновано расу дріжджів *S. cerevisiae* ДО–16 для зброджування суслу концентрацією сухих речовин до 32 % за рН 3,0...6,0. Проведено порівняльний аналіз спиртових рас дріжджів, які мають осмофільні та термотолерантні властивості *S. cerevisiae* ДО–11, К–81, XII. Встановлено, що при культивуванні дріжджів на суслі концентрацією 28 % СР і вище необхідною умовою є корегування азотного живлення додатковим внесенням гліцину або карбаміду. Як активатори фізіолого–біохімічних властивостей спиртових дріжджів досліджено можливість використання металів в нано– та іонній формах (марганець, залізо, мідь, цинк, магній). Ефективним є застосування цинку та магнію.

Для суслу з концентрацією 28...32% СР необхідно використовувати дозування ФП: амілолітичних α –амілазу (0,8 од. АЗ/г крохмалю) глюкоамілазу (7,5 од. ГЛЗ/г крохмалю), цитолітичного (0,35 од. ЦЗ/г сировини), протеолітичного ферменту (0,05 од. ПрЗ/г сировини). Для забезпечення ефективного зброджування висококонцентрованого суслу визначено оптимальну кількість засівних дріжджів,

яка при концентрації сусла 28 % і вище становить 40 млн/см³. З метою інтенсифікації спиртового бродіння зброджування висококонцентрованого сусла необхідно проводити за відповідних температур: перша стадія (24 години) – 35 °С; друга стадія (48 годин) – за 30 °С, що також сприятиме зниженню втрат вуглеводів на 20...30 %, і в результаті підвищенню концентрації етанолу в бражці.

Ключові слова: дріжджі, бродіння, ферментні препарати, висококонцентроване сусло, сухі речовини, наночастинки металів, бражка, етанол.

АНОТАЦИЯ

Ковальчук С.С. Усовершенствование технологий высококонцентрированных бражек из зернового сырья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.18.05 – технология сахаристых веществ и продуктов брожения. – Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена разработке технологии высококонцентрированных бражек с крахмалсодержащего сырья, которая позволяет повысить концентрацию спирта в бражках, уменьшить удельные затраты энергоносителей и количество экологически вредных отходов производства.

Селекционирована раса дрожжей *S. cerevisiae* ДО–16 для сбраживания сусла концентрацией сухих веществ до 32 % при pH 3,0...6,0. Определено влияние концентрации сусла на гигантские колонии и ультратонкую структуру дрожжевых клеток спиртовых рас *S. cerevisiae* ДО–16, К–11, К–81, XII.

Установлено, что при культивировании дрожжей на сусле концентрацией 28 % СВ и выше необходимо дополнительное внесение глицина в количестве 0,7 г/дм³ сусла или карбамида – 800 г/м³, что позволяет повысить концентрацию производственных дрожжей до 430 млн/см³.

Как активаторы физиолого – биохимических свойств спиртовых дрожжей исследована возможность использования металлов (марганец, железо, медь, цинк, магний) в нано– и ионной формах. Установлено, что более эффективным является применение цинка и магния. При их общей концентрации в равных соотношениях 2 мкг/см³ синтезировалась наибольшая концентрация дрожжевых клеток, которая составляла 420 млн/см³. При внесении 50 г/м³ ионов металлов на стадии культивирования дрожжей концентрация дрожжевых клеток составляла 320...370 млн/см³. Применение цитратов цинка и магния подтвердило целесообразность их внесения при культивировании производственных дрожжей. Наибольшая концентрация дрожжевых клеток синтезировалась при 0,07 г/м³.

Для эффективного гидролиза биополимеров зернового сусла с концентрацией 28...32 % СВ необходимо использовать дозировки ФП: амилолитических α – амилазы (0,8 ед. АС/г крахмала) глюкоамилазы (7,5 ед. ГлС/г крахмала), цитолизического (0,35 ед. ЦС/г сырья), протеолитического фермента (0,05 ед. ПС/г сырья). Для обеспечения эффективного сбраживания высококонцентрированного сусла определено оптимальное количество засевных дрожжей, которое при концентрации сусла 28 % и выше составляет 40 млн/см³.

С целью интенсификации спиртового брожения сбраживание

высококонцентрированного сусла необходимо проводить при соответствующих температурах: первая стадия (24 часа) – 35 °C; вторая стадия (48 часов) – 30 °C, что будет способствовать снижению потерь углеводов на 20...30 %, и в результате – повышению концентрации спирта в бражке.

На основе экспериментальных исследований усовершенствована и внедрена технология высококонцентрированных бражек из зернового сырья, которая отражена в нормативно – технической документации.

Ключевые слова: дрожжи, брожение, ферментные препараты, высококонцентрированное сусло, сухие вещества, наночастицы металлов, бражка, этанол.

ANNOTATION

Kovalchuk S. Improvement of technology of high concentrations marsh from grain-growing raw material. – On the rights of manuscripts.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy), specialty 05.18.05 – technology of sugar substances and fermentation products – National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the development of technology of highly concentrated mussels from starchy raw material, which allows to increase the concentration of alcohol in alcohol marsh, to reduce specific energy consumption and the amount of environmentally waste.

Selected yeast race *S. cerevisiae* ДО–16 for fermentation of wort with a concentration of dry substances up to 32% at pH 3,0...6,0. It has been established that in the cultivation of yeast in a wort at a concentration of 28 % DS and above the necessary condition is the correction of nitrogen nutrition by additional addition of glycine, as amine nitrogen or carbamide. As activators of physiological and biochemical properties of alcoholic yeast, the possibility of using metals in nano– ion forms (manganese, iron, copper, zinc, magnesium) was investigated. More effective is the use of zinc and magnesium. For effective hydrolysis of cereal wort biopolymers with a concentration of 28...32 % of DS it is necessary to use a dosage of FP: amylolytic α –amylase (0,8 units of AA/g of starch) glucoamylase (7,5 units of GA/g of starch), cytolytic (0,35 units of CA/g of raw material), a proteolytic enzyme (0,05 units of PrA/g of raw material) .

To ensure efficient fermentation of highly concentrated must, the optimum amount of seed yeast is determined, which, at a concentration of wort 28 % and above, is 40 mill/cm³. In order to intensify alcohol fermentation, the fermentation of a highly concentrated must should be carried out at the appropriate temperatures: the first stage (24 hours) – 35 ° C; second stage (48 hours) – 30 ° C, which will also contribute to reducing the loss of carbohydrates by 20...30 %, and as a result of increased alcohol concentration.

Key words: yeast, fermentation, enzymatic preparations, highly concentrated must, dry matter, metal nanoparticles, alcohol marsh, ethanol.