

Л.В. Левандовський¹, М.В. Бондар²

¹ Київський національний торговельно-економічний університет,
вул. Кіото, 19, Київ, 02158, Україна

² Національний університет харчових технологій,
вул. Володимирська, 68, Київ МПС, 01033, Україна

ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ ДРІЖДЖІВ ПРИ ЇХ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ В УМОВАХ СПИРТОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ М'ЯСНОГО СУСЛА

*Досліджено особливості метаболізму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* штаму М-5 в умовах спиртового зброджування м'ясного сусла підвищеної концентрації сухих речовин в умовах періодичної та безперервної ферментації. При періодичній спиртовій ферментації сусла концентрацією 27 % сухих речовин виявлено, що оптимальною є кількість засівних дріжджів на рівні 60 г/дм³. Це забезпечує максимальне накопичення етанолу в зрілій бражці (11,5 об. %), глибоку асиміляцію вуглеводів та менше утворення вторинного продукту гліцерину.*

Промисловими дослідженнями в безперервному режимі встановлено підвищення активності пускових ферментів гліколізу і посилення питомої спиртоутворювальної здатності рециркульованих дріжджів. Висловлено припущення, що це явище відбувається за рахунок збільшення притоку свіжого м'ясного сусла та адаптації дріжджів до умов середовища внаслідок довготривалого перебування у ньому. Збільшення швидкості притоку м'ясного сусла в головній ферментер батареї з 0,43 до 0,57 год⁻¹ сприяє покращенню фізіологічних показників рециркульованих дріжджів, зменшенню накопичення вторинних продуктів бродіння (ефірів, альдегідів, вищих спиртів, гліцерину), підвищенню виходу спирту із сахарози на 1,84 % і продуктивності процесу по етанолу з 2,3 до 3,8 г/дм³ × год.

*К л ю ч о в і с л о в а: зброджування, *Saccharomyces cerevisiae*, рециркуляція дріжджів, етанол, вторинні продукти метаболізму.*

Процес спиртового зброджування цукровмісних субстратів покладено в основу трансформації вуглеводів в етиловий спирт. В останніми десятиліттями у світі спостерігається тенденція до суттєвого збільшення об'ємів виробництва етанолу для вирішення енергетичних проблем, тобто використання його як біопалива [8, 10, 14]. У зв'язку з важливістю та глобальністю даної проблеми подальші дослідження в напрямку підвищення ефективності виробництва цього продукту є актуальними.

Серед факторів, що мають визначальний вплив на собівартість цільової біотехнологічної продукції, є її вихід з використаної сировини і питомі витрати енергоресурсів. Досягнення успіху в оптимізації кожного з цих факторів тісно пов'язане з фізіологічною активністю дріжджів-продуцентів етилового спирту, збільшення якої можна досягти застосуванням спеціальних селекціонованих штамів спиртових дріжджів [12, 13] та різних технологічних прийомів: ступінчастого вводу субстрату на головній стадії процесу ферментації [5, 6], збільшення концентрації сухих речовин (СР) субстрату шляхом використання селекціонованих осмотолерантних штамів мікроорганізмів-продуцентів спирту [2, 6, 11], іммобілізації дріжджів на різних носіях в зоні ферментації [9, 15, 16] тощо. Одним з ефективних

способів інтенсифікації спиртової ферментації є рециркуляція біомаси продуцента у цьому процесі [9, 14]. Але в опрацьованих літературних джерелах з даного напрямку не надано оцінки фізіологічній активності рециркульованих дріжджів, характеру їх метаболізму в умовах різної швидкості розбавлення середовища та економічного коефіцієнту перетворення вуглеводів у спирт.

Виходячи з наведеного, метою роботи було дослідження особливостей метаболізму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* в умовах їх рециркуляції при спиртовому зброджуванні м'ясного суслу в періодичному і безперервному процесі.

Матеріали і методи. Як продуцент спирту використовували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* штаму М-5, які одержували з колекції промислових мікроорганізмів Українського НДІ спирту і біотехнології продовольчих продуктів [6]. У пробірку з дріжджами на сусло-агарі заливали стерильне солодове сусло і далі здійснювали поступове розведення чистої культури продуцента спирту згідно вимог діючого регламенту [6]. Засівні дріжджі для лабораторних експериментів вирощували в качалочних колбах на збагаченому азотним і фосфорним живленням стерильному м'ясному суслі концентрацією 14 % СР в умовах перемішування на качалці (120 об⁻¹) в термостатній кімнаті при температурі 30±1 °С у кількості, достатній для забезпечення умов експерименту.

Об'єктами досліджень були також: сировина (цукробурякова м'яса, одержана з Андрушівського спиртового заводу), м'ясне сусло, дозріла бражка та її дистиляти.

В м'ясі та м'ясному суслі визначали вміст сухих речовин (СР) рефрактометричним методом, рН – електрометричним. Суму зброджуваних цукрів розраховували за величинами прямої, інверсійної поляризації та вмістом інвертного цукру [4, 6].

Сировиною для приготування м'ясного сусла слугувала цукробурякова м'яса, що містила 49,6 % зброджуваних вуглеводів та 78,8 % СР. Сусло збагачували азотним (карбамід) і фосфорним (H₃PO₄) живленням, після чого розводили водою до необхідної концентрації СР (близько 27 %). Активну кислотність середовища встановлювали на рівні рН 5,2 підкислюванням H₂SO₄. Зброджування сусла в лабораторних умовах здійснювали в конічних скляних колбах ємністю 500 см³ (об'єм сусла 200 см³), закритих сульфатнокислотними затворами, при температурі 29-31 °С. Анаеробні умови в середовищі створювались внаслідок активного виділення CO₂ протягом спиртового бродіння і неможливості надходження кисню з навколишнього повітря завдяки наявності сульфатнокислотного затвору на горловині колби. Зброджування вважали завершеним, коли маса колби з бражкою стабілізувалась, що свідчило про припинення виділення CO₂.

Зрілу бражку (середовище після закінчення зброджування) аналізували за показниками рН середовища, біомасу дріжджів – ваговим методом у перерахунку на 75 % вологість, концентрацію спирту – у дистиляті бражки пікнометричним методом [4, 6]. Приріст біомаси розраховували за різницею між величинами біомаси зрілої бражки і засівних дріжджів. Кількість незброджених вуглеводів у бражці встановлювали резорциново-колориметричним методом [6]. В бражці визначали вміст гліцерину дистиляційно-колориметричним методом [1], а в бражних дистилятах

кількість органічних кислот – титруванням лугом [4], складних ефірів – шляхом їх омилення [4], альдегідів – фотоколориметричним методом з використанням фуксинсірчастого реактиву [1] і вищих спиртів – фотоколориметричним методом з реагентом парадиметилбензальдегід [1] за методиками, що прийняті в науці та практиці спиртового виробництва.

Активність ферменту гексокінази дріжджів визначали спектрофотометричним методом з використанням індикатора крезолового червоного [3, 7], а фосфофруктокінази – спектрофотометричним методом з визначенням кількості окисненого NAD в реакції з фруктозо-6-фосфатом [3].

Кількість мертвих дріжджових клітин у бражці визначали з використанням препарату «метиленовий синій», а дріжджів, що брунькуються – підрахунком їх у полі зору мікроскопа [4].

Статистичну обробку результатів проводили за допомогою стандартного пакету програм Microsoft Office.

Результати та їх обговорення. З метою інтенсифікації зброджування м'ясного суслу у виробництві спирту виконано дослідження з використанням різної кількості засівних дріжджів (7,5, 15, 30, 60 і 120 г/дм³) у цьому процесі на суслі підвищеної концентрації сухих речовин – 27 % (рис. 1, 2 та 3).

Доведено, що зі збільшенням концентрації засівної біомаси від 7,5 до 120 г/дм³ зменшувалась тривалість бродіння з 62 до 23 год (рис. 1),

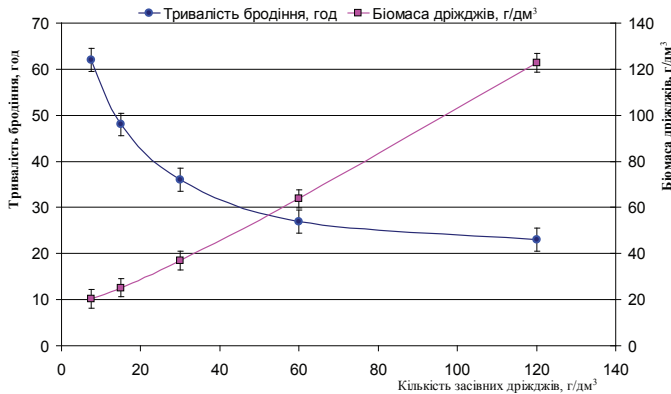


Рис. 1. Залежність тривалості бродіння і величини біомаси дріжджів в зрілій бражці від кількості засівних дріжджів

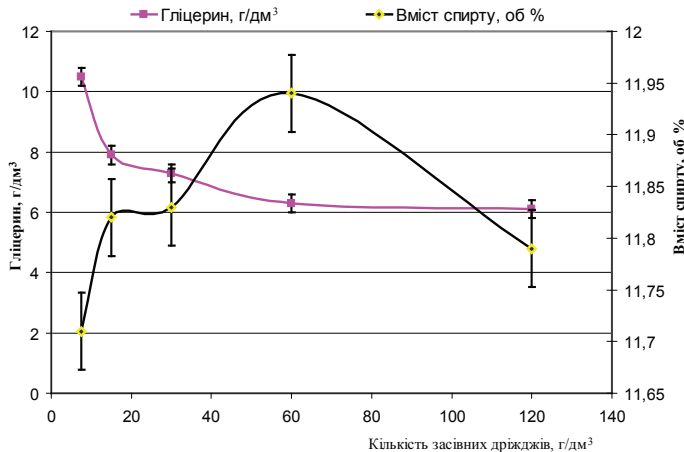


Рис. 2. Залежність концентрації спирту і гліцерину в зрілій бражці від кількості засівних дріжджів

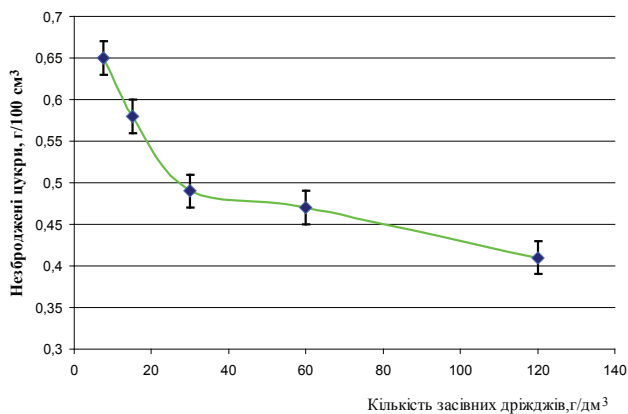


Рис. 3. Залежність вмісту незброджених цукрів в зрілій бражці від кількості засівних дріжджів

кількість незброджених вуглеводів – з 0,65 до 0,41 г/100 см³ (рис. 3) та приріст дріжджів (рис. 1), який у варіантах з кількістю засівних дріжджів 60 та 120 г/дм³ був майже відсутній (знаходився в межах похибки методу визначення). Біосинтез гліцерину послаблювався з 10,5 до 6,3 г/дм³ тільки в діапазоні збільшення концентрації засівних дріжджів з 7,5 до 60 г/дм³ (рис. 2). Визначено, що накопичення цільового продукту (спирту) мало екстремальний характер і було максимальним (11,94 об. %) при початковій концентрації дріжджової біомаси 60 г/дм³ (рис. 2).

Одержані дані було використано в умовах проведення виробничих випробувань на Лужанському експериментальному спиртзаводі.

Безперервний процес зброджування сусла в контрольному і дослідних варіантах здійснювали на ферментаційній пілотній установці, що складалась з чотирьох дріжджегенераторів (по 5 м³ кожен), які працюють паралельно, та десяти послідовно з'єднаних бродильних апаратів (по 6,5 м³).

У контрольному варіанті м'ясне сусло для дріжджів безперервно вводили в дріжджегенератори, а вирощені виробничі дріжджі з них – у головний апарат бродильної батареї (разом із основним м'ясним суслим), де бражка послідовно піддавалась спиртовому зброджуванню в десяти бродильних апаратах з одержанням зрілої бражки.

Для організації процесу з рециркуляції дріжджів (дослідний варіант), бражку із сьомого апарата подавали на сепаратор, після якого одержували дріжджовий концентрат (120-150 г/дм³) і вводили його у перший апарат бродильної батареї. Знедріжджену бражку із сепаратора відводили у восьмий апарат.

Збільшення концентрації біомаси дріжджів у бродильній батареї завдяки їх рециркуляції створило можливість підвищити об'єм м'ясного сусла, яке вводили на бродіння, і збільшити за рахунок цього швидкість розбавлення середовища в ферментерах до 0,57 проти 0,43 год⁻¹ у процесі без рециркуляції дріжджів.

Із представлених у табл. 1 даних видно, що внаслідок накопичення дріжджової біомаси в перших семи бродильних апаратах на рівні 31-69 г/дм³ (проти 26,0-28,5 г/дм³ в контролі) було забезпечено повноту зброджування вуглеводів сусла в дев'ятому апараті навіть при збільшенні величини притоку сусла в головний апарат батареї. У цих умовах швидкість асиміляції вуглеводів при бродінні з рециркуляцією дріжджів

Таблиця 1

Динаміка безперервного збродження суслу підвищеної концентрації (27 %) сухих речовин

Показники	Бродильні апарати						
	1	2	3	5	7	9	10
Бродіння без рециркуляції (контроль)							
Біомаса дріжджів, г/дм ³	26,0± 1,3	26,8±1,5	27,3± 1,4	28,5± 1,5	28,2 ± 1,8	28,0 ± 1,7	26,5 ± 1,6
Вміст етанолу, об. %	7,6± 0,05	8,5± 0,05	9,1± 0,06	10,7± 0,07	11,4± 0,07	11,5 ± 0,07	11,5 ± 0,07
Незброджені вуглеводи, г/100 см ³	4,6± 0,2	5,5±0,2	4,6± 0,2	2,9± 0,09	0,8± 0,02	0,6± 0,02	0,6± 0,02
Дріжджові клітини, що брунькуються, %	49±4	–	47±5	–	–	–	39±4
Мертві клітини, %	2,5± 0,2	–	2,7± 0,4	–	–	–	3,9± 0,4
Бродіння з рециркуляцією (дослід)							
Біомаса дріжджів, г/дм ³	31,0±1,5	69,0±3,0	48,0 ±2,1	36,0 ± 1,8	36,0 ± 2,0	12,0 ± 0,06	15,0 ± 0,08
Вміст етанолу, об. %	6,8± 0,04	8,6±0,05	9,5± 0,06	10,6 ± 0,07	11,2 ± 0,06	11,5 ± 0,07	11,5 ± 0,07
Незброджені вуглеводи, г/100 см ³	4,6± 0,3	3,4±0,1	2,1± 0,1	0,7 ± 0,03	0,6 ± 0,02	0,4 ± 0,02	0,4± 0,01
Дріжджові клітини, що брунькуються (через п'ять діб роботи установки), %	45±5	–	42±4	41±4	40±4	–	37±3
Мертві клітини через п'ять діб роботи установки, %	4,2± 0,5	–	5,2± 0,5	–	–	–	5,3± 0,6

Примітка: «–» – не визначали.

перевищувала аналогічні дані контрольного дослідження: уже в третьому бродильному апараті вміст незброджених вуглеводів становив 2,1 (проти 4,6 г/100 см³ в контролі), а в кінці процесу – 0,40 (проти 0,56 г/100 см³) при однаковому накопиченні етанолу (11,5 об. %). Одержані дані про інтенсифікацію синтезу спирту дріжджами, що використовувалися багаторазово, підтверджуються зарубіжними дослідниками [15].

Завдяки збільшенню притоку свіжого суслу при бродінні з рециркуляцією дріжджів, кількість клітин, що брунькуються, у кінці процесу залишається на досить високому рівні навіть на 5 добу роботи установки і становить 37 % (в контролі без рециркуляції – 39 %), а число мертвих клітин – 5,3 % в умовах високої (11,5 об. %) концентрації спирту в середовищі, що мало відрізняється від цього показника в контролі (3,9 %). Інші автори [13] повідомляють про те, що кількість нежиттєздатних клітин у м'ясній бражці з вмістом спирту 10,8 об. % (без рециркуляції дріжджів) становить близько 10 %.

Відомо, що умови процесу бродіння впливають на рівень біосинтезу вторинних продуктів метаболізму дріжджів, на утворення яких витрача-

ється певна кількість зброджуваних вуглеводів. У табл. 2 представлено вміст вторинних продуктів бродіння в зрілих бражках варіантів з різною швидкістю розбавлення середовища (D).

Результати, що наведено у табл. 2, свідчать про те, що використання рециркуляції продуцента спирту в батареї ферментерів навіть без зміни величини D ($0,43 \text{ год}^{-1}$) сприяє зменшенню накопичення таких продуктів бродіння, як складні ефіри, альдегіди, вищі спирти та гліцерин. Підвищення ж величини D до $0,57 \text{ год}^{-1}$ (дослідний варіант 2) зумовило подальше зниження утворення складних ефірів, альдегідів, вищих спиртів та гліцерину в зрілих бражках порівняно з контролем, відповідно, на 35, 37, 26 та 16 %.

Основні показники процесу безперервної ферментації з рециркуляцією дріжджів зведені у табл. 3. У дослідному вар. № 1 за рахунок рециркуляції

Таблиця 2

Вміст вторинних продуктів метаболізму дріжджів у зрілих бражках

Показники	Контроль (без рециркуляції дріжджів)	Дослідні варіанти з рециркуляцією	
		1	2
D в головному ферментері, год^{-1}	0,43	0,43	0,57
Леткі кислоти, г/дм^3 безводного спирту (б.с.)	$0,66 \pm 0,05$	$0,64 \pm 0,04$	$0,62 \pm 0,05$
Складні ефіри, г/дм^3 б.с.	$0,84 \pm 0,06$	$0,71 \pm 0,06$	$0,55 \pm 0,04$
Альдегіди, об. $\% \times 10^3$	$8,6 \pm 0,6$	$6,4 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,4$
Вищі спирти, об. $\% \times 10^2$	$3,8 \pm 0,19$	$3,0 \pm 0,16$	$2,8 \pm 0,15$
Гліцерин, г/дм^3 бражки	$5,45 \pm 0,22$	$4,90 \pm 0,20$	$4,59 \pm 0,16$

Таблиця 3

Основні показники процесу безперервної ферментації з рециркуляцією дріжджів

Показники	Контроль (без рециркуляції дріжджів)	Бродіння з рециркуляцією дріжджів (дослід)	
		варіант № 1	варіант № 2
D у головному ферментері, год^{-1}	$0,43 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,2$	$0,57 \pm 0,03$
Концентрація дріжджів у головному апараті, г/дм^3	$27,4 \pm 1,5$	$43,8 \pm 1,9$	$35,1 \pm 1,7$
Активність ферментів гліколізу, одиниць/г білка: гексокінази фосфофруктокінази	$26,2 \pm 1,5$ $3,12 \pm 0,20$	$28,7 \pm 1,6$ $3,36 \pm 0,21$	$32,1 \pm 1,6$ $4,02 \pm 0,20$
Питома швидкість біосинтезу спирту дріжджами за весь період бродіння, $\text{см}^3 \text{ спирту/г дріжджів} \times \text{год}$	0,172	0,180	0,207
Вихід спирту із сахарози, г/г	0,488	не визначали	0,497
Питома продуктивність ферментаційного обладнання по етанолу, $\text{г/дм}^3 \times \text{год}$	2,3	2,9	3,8

спостерігається збільшення концентрації дріжджів у головному апараті до 43,8 проти 27,4 г/дм³ у контролі. Збільшення швидкості притоку м'ясяного суслу з 0,43 до 0,57 год⁻¹ у вар. №2 сприяло зменшенню величини цього показника до 35,1 г/дм³, яка все одно була більшою, ніж у процесі без рециркуляції. Визначивши активність двох пускових ферментів гліколізу цих дріжджів встановлено, що у процесі спиртової ферментації з рециркуляцією біомаси (досл. вар. № 1) навіть без збільшення величини D, активність гексокінази дріжджів збільшується на 9,5 %, а фосфофруктокінази – на 7,7 % проти контролю. При підвищенні величини D у дослідному варіанті № 2 до 0,57 год⁻¹ виявлено суттєве збільшення вказаних активностей проти контролю: гексокінази – на 23 %, а фосфофруктокінази – на 29 %. Це явище стало, очевидно, підґрунтям підвищення питомої швидкості біосинтезу спирту дріжджами за період бродіння з 0,180 (досл. вар. № 1) і 0,207 см³ спирту/г дріжджів×год (досл. вар. № 2).

Покращення життєздатності та підвищення активності рециркульованих дріжджів в умовах накопичення спирту до 10,5 об. % при зброджуванні м'ясяного суслу спостерігали й інші дослідники в роботі [9]. Вони прогнозують можливість досягнення високої етанолпродуктивності процесу в двоступеневій системі з поверненням дріжджів з другого апарату в перший. На жаль, у статті не наведено ступінь конверсії (глибину утилізації) вуглеводів суслу при зброджуванні. Від цього показника суттєво залежить як продуктивність зброджування цукрів (у наших дослідях – 38,18 г/дм³×год у головному ферментері), так і питома швидкість біосинтезу спирту дріжджами в ньому (2,46 г спирту/г дріжджів×год).

Аналізуючи дані табл. 2 і 3, можна стверджувати, що в умовах спиртової ферментації з рециркуляцією біомаси фізіологічна активність дріжджів підвищується. Це зумовлює зменшення накопичення більшості вторинних продуктів їх метаболізму (у першу чергу гліцерину) і, відповідно, скорочення нераціональних втрат вуглеводів, створюючи внаслідок цього їх резерв для утворення додаткової кількості етанолу. Визначено, що вихід етилового спирту із 1 г сахарози у вар. № 2 становив 0,497, а за даними [13] – 0,41 см³. Необхідно зауважити, що ці результати одержані в умовах більшої концентрації спирту в наших дослідях – 11,5 (табл. 1) проти 10,8 об. % та при однаковій з [13] продуктивності ферментаційної системи по етанолу (0,38 г/дм³×год) (табл. 3).

Таким чином, за результатами проведеної роботи було визначено особливості метаболізму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* штаму М-5 у процесі спиртового зброджування м'ясяного суслу підвищеної концентрації сухих речовин в умовах періодичної та безперервної ферментації. Встановлено підвищення активності пускових ферментів гліколізу і посилення питомої спиртоутворювальної здатності рециркульованих дріжджів, а також зменшення накопичення ними вторинних продуктів бродіння. На наш погляд, одержані дані можна пояснити збільшенням притоку свіжого суслу у безперервному процесі і певною адаптацією дріжджів до умов середовища внаслідок довготривалого перебування у ньому.

Вказані результати можна ефективно використати у промисловому виробництві харчового, технічного і паливного етанолу.

Л.В. Левандовский¹, М.В. Бондарь²

¹ Киевский национальный торгово-экономический университет,
ул. Киото, 19, Киев, 02158, Украина

² Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, Киев МПС, 01033, Украина

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА ДРОЖЖЕЙ ПРИ ИХ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ МЕЛАССНОГО СУСЛА

Р е з ю м е

Исследованы особенности метаболизма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* штамма М-5 в условиях спиртового сбраживания мелассного сусли повышенной концентрации сухих веществ в условиях периодической и непрерывной ферментации. При периодической спиртовой ферментации сусли концентрацией 27 % сухих веществ выявлено, что оптимальной является величина засеваемых дрожжей на уровне 60 г/дм³. Это обеспечивает максимальное накопление этанола в зрелой бражке (11,5 об. %), глубокую ассимиляцию углеводов и меньшее образование глицерина.

Промышленными исследованиями в непрерывном режиме установлено повышение активности пусковых ферментов гликолиза и усиление удельной спиртообразующей способности рециркулируемых дрожжей. Высказано предположение, что это происходит за счет увеличения притока свежего мелассного сусли и адаптации дрожжей к условиям среды вследствие длительного пребывания в нем. Увеличение скорости притока мелассного сусли в головной ферментер батареи с 0,43 до 0,57 ч⁻¹ способствует улучшению физиологических показателей рециркулируемых дрожжей, уменьшению накопления вторичных продуктов брожения (эфиров, альдегидов, высших спиртов, глицерина), повышению выхода спирта из сахарозы на 1,84 % и продуктивности процесса с 2,3 до 3,8 г спирта/дм³×ч.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ферментация, *Saccharomyces cerevisiae*, рециркуляция дрожжей, этанол, вторичные продукты метаболизма.

L. V. Levandovsky¹, M. V. Bondar²

¹ Kyiv National University of Trade and Economics,
19 Kyoto Str., Kyiv, 02158, Ukraine

² National University of Food Technology,
68 Volodymyrska Str., Kyiv MPS, 01033, Ukraine

FEATURES OF YEAST METABOLISM IN THEIR RECIRCULATION PROVIDED ALCOHOL FERMENTATION OF MOLASSES WORT

S u m m a r y

The subject of investigation are the peculiarities of yeast metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* M-5 strain in the alcoholic fermentation of molasses wort of increased concentration of dry substances in terms of periodic and continuous fermentation. For periodic alcohol fermentation of wort concentrate having 27 % dry substance content it was established, that 60g /dm³ is the optimal value for inoculate yeast. This results in the maximal accumulation of ethanol in the mature mash (11.5 vol. %), in the deep assimilation of carbohydrates and by the generation of fewer amount of glycerin.

By industrial uninterrupted-mode investigations the increase in activity of starting enzymes of glycolysis and strengthening in the capacity of recirculated yeast have been

demonstrated. For the first time we show, that this is a consequence of adaptation of yeast to the cultural medium as a result of long-term stay of yeast in it. The increase of the inflow speed of molasses wort into the main fermenter of the battery from 0.43 to 0.57 h⁻¹ improves physiological parameters of recirculated yeast. Also, this reduces the accumulation of secondary products of fermentation (ethers, aldehydes, higher alcohols, glycerin). At the same time, this approach allows to increase the yield of alcohol from the saccharose by 1.84 % and to enhance the productivity with respect to ethanol from 2.3 to 3.8 g/dm³×h.

К е у w o r d s: fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, yeast recirculation, ethanol, secondary products of metabolism.

1. Великая Е.И., Суходол В.Ф. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. – 313 с.
2. Зубченко В.С., Ткаченко Л.В. Стабілізація спиртоутворюючої здатності дріжджів при зброджуванні сусла підвищеної концентрації // Харчова промисловість. – 2011. – № 10. – С. 193–196.
3. Кочетов Г.А. Практическое руководство по энзимологии. – М.: Высшая школа, 1980. – 271 с.
4. Польшалина Г.В. Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. – М.: Колос, 1999. – 336 с.
5. *Технологія спирту* / За редакцією проф. В.О.Маринченка. – Вінниця: Поділля-2000, 2003. – 496 с.
6. *Типовий технологічний регламент одержання м'ясно-спиртової бражки і пресованих хлібопекарських дріжджів*: ТР У 18.8049 – 2004. – К.: УкрНДІспиртбіо-прод: Міністерство аграрної політики України, 2004. – 62 с.
7. Тихонова О.В., Молодченкова О.О., Петров С.А. Активность гексокиназы и транс-кетолазы в зерне кукурузы при его прорастании в условиях водного дефицита // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Біологія. – 2007. – 6, № 788. – С. 182–185.
8. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Іноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. – К.: Асканія, 2009. – 424 с.
9. Ben Chaabene B.F., Aldiquier A.S., Alfenore S., Camelevre X., Blanc P., Bidereux C. Very high ethanol productivity in an innovative continuous two-stage bioreactor with cell recycles // Bioprocess Biosyst. Eng., – 2006. – 29 (1). – P. 49–57.
10. Bouallagui H., Touhami Y., Hanafi N., Ghariani A., Hamdi M. Performances comparison between three technologies for continuous ethanol production from molasses // Biomass and Bioenergy. – 2013. – 48. – P. 25–32.
11. De Andrade R., Cândida Rabelo S., Maugeri Filho F., Maciel Filho R., Carvalho da Costa A. Evaluation of the alcoholic fermentation kinetics of enzymatic hydrolysates from sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum* L.) // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – 88 (6). – P. 1049–1057.
12. Fakruddin M., Quayum M., Ahmed M., Choudhury N. Analysis of key factors affecting ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* IFST-072011 // Biotechnology. – 2012. – 11 (4). – P. 248–252.
13. Fernández-López C., Torrestiana-Sánchez B., Salgado-Cervantes M., Mendoza García P., Aguilar-Uscanga M. Use of sugarcane molasses «B» as an alternative for ethanol production with wild-type yeast *Saccharomyces cerevisiae* ITV-01 at high

- sugar concentrations // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. – 2012. – 35 (4). – P. 605–614.
14. *Herrera W.E., Filho R.M.* Development of a monitoring hybrid system for bioethanol production // *Chemical Engineering Transactions*. – 2013. – 32. – P. 943–948.
 15. *Kishore Babu N., Balakrishnan K., Raghava R.T., Seshagiri R.G.* Comparative study on ethanol production by repeated batch fermentation using an immobilized yeast strain, isolated from toddy sap // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2012. – 3 (2). – P. 833–843.
 16. *Vučurović V.M., Razmovski R.N.* Ethanol fermentation of molasses by *Saccharomyces cerevisiae* cells immobilized onto sugar beet pulp // *Acta Periodica Technologica*. – 2012. – 43. – P. 325–333.

Отримано 21.08.2015