



Зберігання та переробка продукції

УДК 663.53
© 2019

ВПЛИВ НЕЦУКРІВ МЕЛЯСИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗБРОДЖУВАННЯ СУСЛА З ЦУКРОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

О.О. Коваль¹, С.Т. Олійнічук²

²доктор технічних наук

Інститут продовольчих ресурсів НААН

вул. Є. Сверстюка, 4а, м. Київ, 02002, Україна

e-mail: ¹olgakoval1982@gmail.com, ²oliynichukst@ukr.net

Надійшла 19.10.2018

Мета. Установити вплив нецукрів меляси на фізіологічну активність дріжджів та ефективність збродження сусла з цукровмісної сировини. **Методи.** Визначення фізико-хімічного складу цукровмісної сировини, показників сусла і зрілої бражки проводили згідно з методиками, що застосовуються у цукровому та спиртовому виробництвах. **Статистичні. Результати.** За умови зниження частки меляси в живильному середовищі зростає загальна доброякісність сусла, зменшується концентрація сухих речовин у ньому, зменшуючи таким чином осмотичний стрес клітин дріжджів, та, відповідно, витрати цукрів на продукування гліцерину. Зниження вмісту нецукрів у суслі при заміні цукрів меляси цукрами дифузійного соку на 25 та 50% сприяє більшому накопиченню спирту в бражці, збільшенню вмісту в ній біомаси та зниженню показника незбродженого цукру. Збільшення частки цукрів дифузійного соку в суслі до 75% фактично нівелює негативний вплив нецукрів меляси на життєдіяльність дріжджової клітини. Заміна частини цукрів меляси цукрами соку збільшує вихід етанолу, що дає змогу додатково отримати 1,24 – 2,29 дал на кожній тонні сировини цієї якості. **Висновки.** Установлено, що нецукри меляси мають виражену негативну дію на швидкість приросту біомаси дріжджів та їх спиртоутворювальну здатність. Зниження вмісту нецукрів у суслі способом заміни цукрів меляси цукрами дифузійного соку поліпшує показники якості зрілої бражки. Нормативний вихід спирту з цукрози досягається збродженням дифузійного соку з доброякісністю 84,9%. Найвищого ефекту переробки меляси цієї якості можна досягти змішуванням її з дифузійним соком у пропорції 25:75.

Ключові слова: нецукри, дифузійний сік, бродіння, меляса, *Saccharomyces cerevisiae*, біоетанол, дріжджі.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-10>

Економічну доцільність використання продуктів переробки буряків цукрових як сировини для виробництва біоетанолу неодноразово доведено роботами вітчизняних і зарубіжних науковців [1–5]. Інтегрування біоетанольного виробництва у структуру цукрового заводу успішно використовують у ряді країн світу. Так, одним із найбільших виробників у Європі є комплекс Bazancourt-Pomacle Biorefinery (Франція), основу якого становлять цукровий завод Crystal Union і виробництво етанолу — Cristanol [6].

Підприємства аналогічного плану створюються та функціонують і в Україні, однак ефективність такого виробництва істотно знижена через застосування на цукрових заводах 3-продуктової схеми отримання цукру, спрямованої на максимальний прибуток цукрового відділення. Це негативно впливає на якість меляси, підвищуючи в ній вміст шкідливих нецукрів, і, відповідно, погіршує економічні показники виробництва біоетанолу. З огляду на це застосування таких меляс у виробництві біоетанолу потребує коригування технологічних параметрів їх переробки для мінімізації негативного впливу підвищеної кількості нецукрів, зокрема меланоїдинів, карамеланів тощо, на життєдіяльність дріжджової клітини.

Мета досліджень — установити вплив нецукрів меляси на фізіологічну активність дріжджів та ефективність зброджування сусла з цукровмісної сировини.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктами досліджень були: сусло, приготоване з неочищеного дифузійного соку, меляси та їх сумішей, процеси культивування дріжджів і зброджування сусла, зріла бражка.

Як продуцент спирту етилового використовували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* раси К-7 (У 5007), які здатні зброджувати мелясне сусло концентрацією 26–28% СР із накопиченням спирту в бражці в межах 10–11% об. Штам характеризується високою спиртоутворювальною здатністю та економічністю синтезу спирту [7].

Вирощування засівних дріжджів і зброджування сусла проводили за параметрами, що застосовуються у виробництві. Контролювали процес зброджування за кількістю CO₂, що виділився під час бродиння.

Визначення фізико-хімічного складу цукровмісної сировини, показників сусла та зрілої бражки проводили згідно з методиками, що застосовуються у цукровому та спиртовому виробництві [8–13].

Дослідження проводили у 3-х повторностях, у таблицях і рисунках зазначено середні значення показників.

Результати досліджень. Для визначення придатності цукровмісної сировини для зброджування в біоетанол досліджено фізико-хімічні показники якості зразків, отриманих з промислово-технологічного процесу у 2016–2017 рр., — неочищеного дифузійного соку та меляси (табл. 1).

1. Фізико-хімічний склад цукровмісної сировини, отриманої з виробництва

Показник	Результати випробувань	
	Дифузійний сік	Меляса
Масова частка СР, %	18,25	80,00
pH середовища, од.	5,36	5,68
Масова частка, %:		
сахарози	15,60	45,50
редуючих речовин (із реактивом Мюллера)	0,83	1,70
суми зброджуваних речовин	15,50	46,40
Уміст азоту, %:		
загального	1,20	1,25
формольного	Не визначається	0,21
Колірність меляси, % світлопропускання до води дистильованої	»	2,67
Доброякісність, %	84,93	58,00

Отримані дані дають підставу стверджувати про наявність достатньої кількості доступних цукрів у цих типах сировини та придатність їх для зброджування в біоетанол. Однак меляса, отримана з промислово-технологічного процесу, має ознаки дефектної [9], що істотно впливає на ефективність її зброджування дріжджовими клітинами.

Однією з можливих причин погіршення якості меляси, вважаємо, є високий вміст сапоніну в утфелях II та III кристалізації цукрового виробництва, що призводило в них до інтенсивного піноутворення і збільшувало тривалість уварювання. За таких умов збільшився вміст інвертного цукру, розклад якого супроводжується утворенням апоглюцинової та інших кислот — інгібіторів дріжджів.

Меляса, отримана з цукрового виробництва, має низький показник колірності — 2,67% проти 40%, визначених за Типовим регламентом [9], що зумовлено значним умістом меланоїдинів, утворених у процесі цукроамінної реакції. Меланоїдини є досить вагомими інгібіторами дріжджів, оскільки сорбуються на поверхні дріжджових клітин, особливо за низьких значень рН, чим ускладнюють доступ живильних речовин у клітину та пригнічують її ферментну активність [14]. При зброджуванні такої меляси дозріла бражка характеризувалася малим умістом біомаси дріжджів і значним перевищенням вмісту незбродженого цукру, що підтверджує негативний вплив зазначених вище показників меляси.

Дослідження впливу нецукрів меляси на ферментну систему дріжджів здійснювали способом заміни частини цукру меляси цукром неочищеного дифузійного соку, оскільки попередніми дослідженнями [15] було встановлено позитивний ефект застосування сумішей напівпродуктів цукрового виробництва як сировини для виробництва біоетанолу. Як контрольний варіант використано сусло, приготоване з цукробурякової меляси. Інші варіанти досліджень включали заміну частини цукрів меляси еквівалентною кількістю цукрів дифузійного соку в різних співвідношеннях. Тривалість бродіння становила 72 год, для контрольного варіанта — 80 год. Визначено розподіл умісту сухих речовин у суслі при заміні меляси соком (рис. 1).

Слід зазначити про зниження вмісту сухих речовин у суслі зі збільшенням кількості цукрів соку в ньому, оскільки цей тип сировини має вищий показник доброякісності (84,93%) порівняно з мелясою (58%), а отже, еквівалентній кількості цукрів відповідає менша кількість нецукрів, що може вплинути на життєдіяльність дріжджової клітини.

Одним із показників такого впливу є зростання кількості біомаси дріжджів за збільшення частки дифузійного соку в суслі на 4,14–31,72% порівняно з контролем (табл. 2). Враховуючи літературні дані [14, 16] про негативний вплив меланоїдинів на функціонування дріжджової клітини, можна стверджувати, що саме висока кількість нецукрів меляси, зокрема меланоїдинів, у суслі є причиною зменшення кількості біомаси в бражці зі зменшенням частки дифузійного соку в початковому суслі.

За дії високоосмолярних середовищ клітини *S. cerevisiae* реагують швидким внутрішньоклітинним накопиченням гліцерину, щоб протидіяти їх зневодненню [17]. Відповідно, зниження концентрації сухих речовин у суслі сприяє зниженню накопичення гліцерину в зрілій бражці (див. табл. 2).

Зниження вмісту нецукрів у суслі завдяки додаванню до нього дифузійного соку позитивно впливає на генеруючу здатність дріжджів і накопичення спирту в бражці. Так, за умови заміни лише 25% цукрів меляси цукрами соку вміст спирту в бражці збільшується на 5,53%, за умови заміни 75% цукрів — на 8,29% порівняно з контролем, що відповідає вмісту спирту, отриманому за повної заміни меляси дифузійним соком.

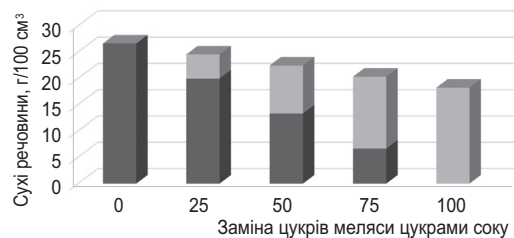


Рис. 1. Співвідношення вмісту сухих речовин меляси та дифузійного соку в цукровмісному суслі, г/100 см³ сусла: ■ — сухі речовини соку; ■ — сухі речовини меляси

2. Вплив нецукрів меляси на ефективність зброджування цукровмісного сусла

Показник	Контроль (меляса)	Заміна цукрів меляси цукрами соку, %			
		25 (вар. 1)	50 (вар. 2)	75 (вар. 3)	100 (вар. 4)
рН зрілої бражки	5,04	5,00	4,96	4,75	4,10
Уміст спирту, % об.	9,05	9,55	9,65	9,80	9,80
Уміст незбродженого цукру, г/100 см ³	1,04	0,40	0,35	0,26	0,23
Біомаса, г/дм ³	14,50	15,10	18,60	18,70	19,10
Уміст гліцерину, г/100 см ³	1,18	1,10	0,98	0,90	0,90

Ферментація сусла контрольного варіанта характеризується високим умістом незбродженого цукру — 1,04 г/100 см³ (табл. 2), який є у 4,5 раза більшим порівняно з варіантом 4 (0,23 г/100 см³), що також є підтвердженням негативної дії високого вмісту нецукрів на ферментативну активність дріжджової клітини.

У процесі життєдіяльності дріжджові клітини продукують органічні кислоти, які впливають на показник активної кислотності. Для оптимального функціонування дріжджів початкове рН сусла у всіх варіантах становило 4,80, однак у зрілій бражці варіанта 4 цей показник знизився до 4,10, що пояснюється невеликою буферністю дифузійного соку. Зростання частки меляси в живильному середовищі сприяло стабілізації показника рН на рівні 4,75–5,04, оскільки наявність у ній більшої кількості солей, особливо фосфатів, сприяє збільшенню буферності середовища та підвищує продукцію гліцерину завдяки вищому показнику рН і того, що самі солі є тригерами осмотичного стресу.

За умови зниження частки меляси в живильному середовищі зростає загальна доброякісність сусла — до 46,04% за повної заміни цукрів меляси цукрами соку, порівняно з контролем. Вихід спирту з 1 т введеного цукру при цьому становить 63,23 дал, що відповідає виробничим нормам. Однак слід зауважити, що вихід спирту з 1 т цукру у варіанті 3 (75% заміни) є аналогічним за умови нижчої доброякісності сусла (рис. 2). Ймовірно, що за такої кількості нецукри меляси не мають чітко вираженої негативної дії на клітини. Крім того, наявність у середовищі додаткових елементів живлення, що містяться в неочищеному дифузійному соку,

може частково нівелювати вплив нецукрів на дріжджі. Загалом, введення дифузійного соку в різних пропорціях сприяє зростанню виходу спирту з 1 т введеного цукру на рівні 4,56–8,42% порівняно з контролем, що дає змогу знизити виробничі втрати.

Одним із важливих показників у виробництві етанолу є вихід спирту з 1 т сировини (див. рис. 2). Так, заміна частини цукрів меляси цукрами соку збільшує вихід етанолу до 28,40–29,45 дал/т за контрольного значення 27,16 дал/т, що дає змогу додатково отримати 1,24–2,29 дал на кожній тонні сировини цієї якості.

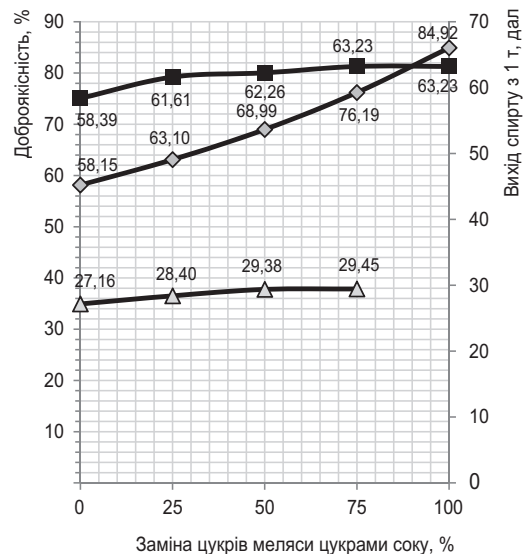


Рис. 2. Залежність виходу спирту з 1 т доданого цукру та з 1 т меляси від загальної доброякісності сусла: —◇— загальна доброякісність сусла, %; —■— вихід спирту з 1 т цукру, дал; —▲— вихід спирту з 1 т меляси, дал

Висновки

Установлено, що нецукри меляси мають виражену негативну дію на швидкість приросту біомаси дріжджів та їх спиртоутворювальну здатність. Зниження вмісту нецукрів у суслі способом заміни цукрів меляси цукрами дифузійного соку сприяє більшому накопиченню спирту в бражці, збільшенню вмісту в ній біомаси та зниженню показника незбродженого

цукру. Нормативний вихід спирту з цукрози досягається зброджуванням дифузійного соку з доброякісністю 84,9%. Зниження частки цукрів дифузійного соку в поживному середовищі нижче 75% від загального введеного цукру зменшує вихід етилового спирту. Найвищого ефекту переробки меляси цієї якості можна досягти змішуванням її з дифузійним соком у пропорції 25:75.

Коваль О.А.¹, Олійничук С.Т.²

*Інститут продовольствених ресурсів НААН,
ул. Е. Сверстюка, 4а, г. Київ, 02002, Україна;
e-mail: ¹olgakoval1982@gmail.com, ²oliynichukst@ukr.net*

Влияние несахаров мелассы на эффективность сбраживания суслу из сахаросодержащего сырья

Цель. Установить влияние несахаров мелассы на физиологическую активность дрожжей и эффективность сбраживания суслу из сахаросодержащего сырья. **Методы.** Определение физико-химического состава сахаросодержащего сырья, показателей суслу и зрелой бражки проводили согласно методик, которые используются в сахарном и спиртовом производствах. Статистические. **Результаты.** При снижении доли мелассы в питательной среде повышается общая доброкачественность суслу, снижается концентрация сухих веществ в нем, уменьшая таким образом осмотический стресс клеток дрожжей, и, соответственно, расходы сахаров на продуцирование глицерина. Снижение содержания несахаров в сусле при замене сахаров мелассы сахарами диффузионного соку на 25 и 50% способствует большему накоплению спирта в бражке, увеличению в ней биомассы и снижению показателя несброженного сахара. Увеличение доли сахаров диффузионного соку в сусле до 75 % фактически нивелирует негативное влияние несахаров мелассы на жизнедеятельность дрожжевой клетки. Замена части сахаров мелассы сахарами соку увеличивает выход этанола, что дает возможность дополнительно получить 1,24–2,29 дал на каждой тонне сырья этого качества. **Выводы.** Установлено, что несахара мелассы имеют выраженное негативное действие на скорость прироста биомассы дрожжей и их спиртообразующую способность. Снижение количества несахаров в сусле путем замены сахаров мелассы сахарами диффузионного соку улучшает показатели качества зрелой бражки. Нормативный выход спирта из сахарозы достигается при сбраживании диффузионного

соку с доброкачественностью 84,9%. Самого высокого эффекта переработки мелассы этого качества можно достичь путем смешивания ее с диффузионным соком в пропорции 25:75.

Ключевые слова: несахара, диффузионный сок, брожение, меласса, *Saccharomyces cerevisiae*, биоэтанол, дрожжи.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-10>

Koval O.¹, Oliinichuk S.²

*Institute of food resources of NAAS, Ye. Sverstiuk Str., 4a,
Kyiv, 02002, Ukraine; e-mail: ¹olgakoval1982@gmail.com, ²oliynichukst@ukr.net*

Influence of melasses non-sugars on efficiency of fermentation of mash from sacchariferous raw material

The purpose. To establish influence of melasses non-sugars on physiological activity of yeast and efficiency of fermentation of mash from sacchariferous raw material. **Methods.** Determination of physical and chemical structure of sacchariferous raw material, parameters of mash and mature distillers' beer spent according to techniques which are used in production of sugar and spirit. Statistical. **Results.** At decrease of melasses share in nutrient medium the general high quality of a mash raises, concentration of dry substances in it decreases, reducing thus osmotic stress of cells of yeast, and, accordingly, charges of sugars on glycerin production. Reduction of non-sugars in a mash at replacement of melasses sugars with sugars of diffusion juice promotes on 25 and 50% greater accumulation of spirit in distillers' beer, increases biomass in it and decreases parameter of non-fermented sugar. Increase in a share of sugars of diffusion juice in a mash up to 75% actually levels negative influence of melasses non-sugars on ability to live of yeast cell. Replacement of a part of melasses sugars with sugars of juice increases output of ethanol that enables in addition to receive 1,24–2,29 dal on each ton of raw material of this quality. **Conclusions.** It is established that melasses non-sugars negatively influence growth of yeast biomass and its alcohol-forming ability. Decrease

in non-sugars in a mash because of replacement of melasses sugars with sugars of diffusion juice improves parameters of quality of mature distillers' beer. Normative output of spirit from saccharose is reached at fermentation of diffusion juice with high quality of 84,9%. The highest effect of processing

melasses of this quality can be reached by its mixing with diffusion juice in a proportion 25:75.

Key words: non-sugars, diffusion juice, fermentation, melasses, *Saccharomyces cerevisiae*, bioethanol, yeast.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-10>

Бібліографія

1. Зубченко В.С., Грушицький М.І., Ткаченко Л.В. Використання напівпродуктів цукрового виробництва як альтернативної сировини для одержання біоетанолу. *Харчова промисловість*. 2008. № 7. С. 12–14.
2. Калетнік Г.М. Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України: монографія. Київ: Хай-Тек Прес, 2010. 516 с.
3. Пат. № 86054 Україна, МПК (2013.01) C10L 1/00, C13B 99/00. Спосіб виробництва цукру та біоетанолу. С.В. Іванов, М.П. Сичевський, С.Т. Олійнічук, М.М. Ярчук, М.Ф. Калініченко, В.В. Сосницький, Є.А. Лукашевич, Л.М. Хомічак, П.Л. Шиян, В.К. Рудаков; заявник і патентовласник Національний університет харчових технологій, Науково-виробниче товариство з обмеженою відповідальністю «Інтермаш», Інститут продовольчих ресурсів НААН. № u20130777; заявл. 19.06.13; опубл. 10.12.13. 2 с.
4. Ramesh Duraisam, Ketemaw Salelgn, Abiyu Kerebo Bereketete. Production of beet sugar and bioethanol from sugar beet and its bagasse: a review. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2017. V. 43. № 4. P. 222–233. doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V43P237.
5. Bowen E., Kennedy S. C., Clark W. M. Ethanol from sugar beets : a process and economic analysis. Worcester Polytechnic Institute. 2010. 143 p. doi.org/10.1007/978-3-662-47374-0.
6. Schieb P.-A., Lesclieux-Katir H., Thénot M., Clément-Larosière B. Biorefinery 2030. Biorefinery 2030: Future Prospects for the Bioeconomy. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2015. 123 p. doi.org/10.1007/978-3-662-47374-0.
7. Пат. № 20915 Україна, МПК C12N, C12P, C12R 1/865. Гібридний штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* teуen для мікробіологічного синтезу спирту з меляси. С.Т. Олійнічук, А.Ф. Ткаченко, В.І. Шевченко, К.О. Коваль, Л.В. Рудніченко, Н.Є. Шустікова; заявник і патентовласник Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології продовольчих продуктів. № 96124751; заявл. 20.12.96; опубл. 15.12.00. 2 с.
8. ДСТУ 3696-98 (ГОСТ 30561-98). Меляса бурякова. Технічні умови. Київ, 1998. 10 с.
9. Типовий технологічний регламент одержання мелясно-спиртової бражки і пресованих хлібопекарських дріжджів. ТТР № 000 32744-3508-2005. Київ, 2005. 246 с.
10. Бугаєнко І.Ф. Технохимический контроль сахарного производства. Москва: Агропромиздат, 1989. 216 с.
11. Рухлядєва А.П. Технохимический контроль спиртового производства. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 208 с.
12. Бойко Л.М. Физико-химические методы контроля бродительных производств. Киев: Техника, 1986. 192 с.
13. Купчик М. П., Рева Л.П., Штангєєва Н.І. та ін. Технологія цукристих речовин. Лабораторний практикум. Київ: НУХТ, 2007. 393 с.
14. Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П.Л. та ін. Технологія спирту: підручник; за ред. В.О. Маринченко. Вінниця: Поділля-2000, 2003. 496 с.
15. Коваль О.О., Олійнічук С.Т., Хомічак Л.М. та ін. Зброджування цукровмісних продуктів цукрового виробництва в біоетанол. *Цукор України*. 2014. № 2 (98). С. 10–13.
16. Домарецький В.А., Прибильський В.Л., Михайлов М.Г. Технологія екстрактів, концентратів і напоїв із рослинної сировини: підручник; за ред. В.А. Домарецького. Вінниця: Нова книга, 2005. 408 с.
17. Nevoigt E., Stahl, U. Osmoregulation and glycerol metabolism in the yeast *saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Reviews*. 1997. V. 21. Is. 3. P. 231–241. doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00352.x.