

Зброджування цукровмісних продуктів цукрового виробництва в біоетанол

О.О. Коваль, провідний інженер, Інститут продовольчих ресурсів НААН України

С.Т. Олійнічук, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом біоресурсів та переробки рослинної сировини, Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Л.М. Хомічак, доктор технічних наук, професор, член-кор. НААН України, Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Ю.О. Батог, науковий співробітник, Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Т.І. Лисак, науковий співробітник, Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Визначено фізико-хімічний склад напівпродуктів цукрового виробництва з точки зору придатності їх для зброджування в біоетанол. Досліджено динаміку накопичення спирту впродовж бродіння та якісні показники зрілої бражки. Встановлено доцільність перероблення відтоку другої кристалізації в біоетанол.

Ключові слова: напівпродукти цукрового виробництва, біоетанол, відтік другої кристалізації, меляса, бродіння.

Определен физико-химический состав полупродуктов сахарного производства с точки зрения пригодности их для сбраживания в биоэтанол. Исследована динамика накопления спирта в процессе брожения и качественные показатели зрелой бражки. Установлена целесообразность переработки оттока второй кристаллизации в биоэтанол.

Ключевые слова: полупродукты сахарного производства, биоэтанол, отток второй кристаллизации, патока, брожение.

Physical and chemical compound of sugar production semiproducts' in terms of their suitability for fermentation into ethanol is determined. The dynamics of alcohol accumulation during fermentation and quality indicators fermented wort are researched. Feasibility of recycling the outflow of the second crystallization in ethanol is established.

Keywords: sugar production semiproducts', bioethanol, the outflow of the second crystallization, molasses, fermentation.

Постановка проблеми. Традиційно цукрова галузь України була спрямована на максимальне можливе вилучення цукру із цукрового буряка, що досягалось впровадженням у виробництво дво- та трипродуктових технологічних схем. Особливістю даних схем є проведення багатостадійного концентрування напівпродуктів цукрового виробництва, що призводить до значних витрат теплової енергії, погіршення якості та підвищення собівартості готової продукції, та, відповідно, стає однією з причин невизначеності вітчизняного цукру на зовнішньому ринку.

Обмеження експорту цукру, неконтрольований імпорт та використання цукрозамінників, сезонне перенасичення ринку призвело до падіння внутрішнього споживчого попиту на цукор. Не останню роль у збільшенні собівартості цього продукту відіграли повільне впровадження інноваційних технологій, спрямованих на економію сировини, зменшення енерговитрат та раціональне використання відходів цукровиробництва [1]. Результатом стало зменшення рентабельності цукрових заводів, частина з яких припинила своє існування.

Одним із шляхів виведення цукрової промисловості з кризи є ефективне поєднання виробництва цукру з виробництвом біоетанолу. Необхідність розвитку даного напрямку визначається на лише високою залежністю країни від імпорту енергоресурсів, а й потребою мати резервні потужності для утилізації відходів та супутньої продукції цукроваріння, а також переробки надлишку вирошеної сировини, зважаючи на циклічний і ризиковий характер аграрного виробництва [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основною цукровмісною сировиною для виробництва етанолу в Україні є меляса, однак не менш цікавими для використання є і такі напівпродукти, як дифузійний сік, відтік I та II кристалізації. Дані продукти мають різний фізико-хімічний склад, однак досить високий вміст цукру в них дозволяє ефективно використовувати їх як альтернативну сировину для виробництва біоетанолу [3]. З економічної точки зору більш вигідним є використання тих напівпродуктів, які дають змогу одержати максимальний вихід етанолу та можуть довші зберігатися [4].

Метою досліджень було встановлення складу та біотехнологічних властивостей напівпродуктів цукрового виробництва з точки зору придатності їх для спиртового бродіння з одержанням максимального виходу етанолу.

Об'єктами досліджень були неочищений дифузійний сік, відтік другої кристалізації, меляса, дріжджі, дозріла бражка.

Напівпродукти цукрового виробництва аналізували за наступними методиками: концентрацію сухих речовин (СР) – рефрактометричним методом [5]; величину рН середовища – потенціометричним методом за допомогою рН-метра МР-512; масову частку сахарози та інверсійну поляризацію в мелясі та відтоці – поляриметричним методом з використанням сахариметра СУ-5 [6]; масову частку сахарози в дифузійному соці – поляриметричним методом [7]; загальну суму цукрів, що зброджуються, в мелясі та відтоці другої кристалізації розраховували за прямою, інверсійною поляризацією та вмістом інвертного цукру [8]; масову частку загального азоту – за методом К'ельдаля [8]; масову частку фосфору – колориметричним методом Бригса [8].

Процес спиртового зброджування сусла в лабораторних умовах досліджували за методом «бродильної проби» [8]. Під час досліджень використовували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* раси У 5007 (К-7). Культивування дріжджів проводили за класичною схемою.

Зброджування проводили у термостаті за температури 30°C впродовж 72 годин. Для повноти зброджування цукрів подовжували процес доброджування на 12 годин. Напівпродукти готували шляхом підкислення до рН 4,8-5,0 од. за допомогою сірчаної кислоти молярною концентрацією 1 моль/дм³, збагачували азотним та фосфорним живленням у вигляді карбаміду та ортофосфорної кислоти. Контроль процесу зброджування здійснювали за кількістю СО₂, що виділився під час бродіння. У дозрілій бражці визначали вміст незброджених цукрів фотоколориметричним методом з резорциновим реагентом [8]. В бражних

дистилятах визначали концентрацію етанолу ареометричним методом [6].

Досліджено фізико-хімічний склад напівпродуктів цукрового виробництва – дифузійний сік, відтік II кристалізації, меляса. Результати досліджень наведено в **таблиці 1**.

Узагальнюючи отримані дані, можна стверджувати, що напівпродукти мають необхідну кількість цукрів, придатних для зброджування, однак одночасно характеризуються і нестачею основних елементів живлення, необхідних для забезпечення нормального розвитку та життєдіяльності спиртових дріжджів.

В процесі зброджування цукровмісних продуктів було визначено динаміку виділення вуглекислого газу, яку наведено в **рис. 1**.

Як видно з **рисунку 1**, за однакових умов бродіння інтенсивність зброджування бражок є різною. Так, для дифузійного соку вже на першу добу ступінь зброджування цукрів становив 95%, а на 60-у годину процес спиртового бродіння повністю завершився. Щодо сусла на основі меляси та відтоку, то швидкість зброджування мелясної бражки на першу добу була більшою (за кількістю СО₂, що виділився) і становила 55% проти 38% - з відтоку, однак вже після другої доби бродіння, кількість виділеного СО₂ була практично однаковою в обох варіантах, при цьому ступінь зброджування складав 91–92%, і далі процеси доброджування проходили з однаковою інтенсивністю.

Дослідження динаміки накопичення спирту в бражці показали, що за однакових умов бродіння вміст спирту в бражному дистиляті з меляси на першу добу складає 5,5% об., а з відтоку, відповідно, 3,9%, і це свідчить про більшу активність життєдіяльності спиртових дріжджів у мелясній бражці (**рис. 2**). Після 48 годин бродіння вміст спирту в дистилятах з меляси та відтоку суттєво збільшився і майже вирівнявся (9,3% об. і 9,5% об. відповідно), що свідчить про різке зростання активності дріжджів у бражці з відтоку. Надалі процеси доброджування в обох варіантах проходили з практично однаковою швидкістю, однак було встановле-

Таблиця 1

Фізико-хімічний склад напівпродуктів цукрового виробництва

№ з/п	Найменування показника	Результати випробувань		
		Дифузійний сік	Відтік II кристалізації	Меляса
1	Масова частка СР, %	17,0	81,9	80,0
2	рН середовища, од.	5,69	7,00	6,14
3	Масова частка сахарози, %	13,8	60,25	49,0
4	Інверсійна поляризація, %	нв	21,6	19,1
5	Масова частка інвертного цукру,%	нв	0,45	0,61
6	Масова частка суми зброджуваних речовин, %	нв	62,1	52,1
7	Масова частка азоту, %	1,23	1,12	1,48
8	Масова частка фосфору, %	0,009	0,027	0,030
9	Доброякісність, %	81,18	75,82	65,13

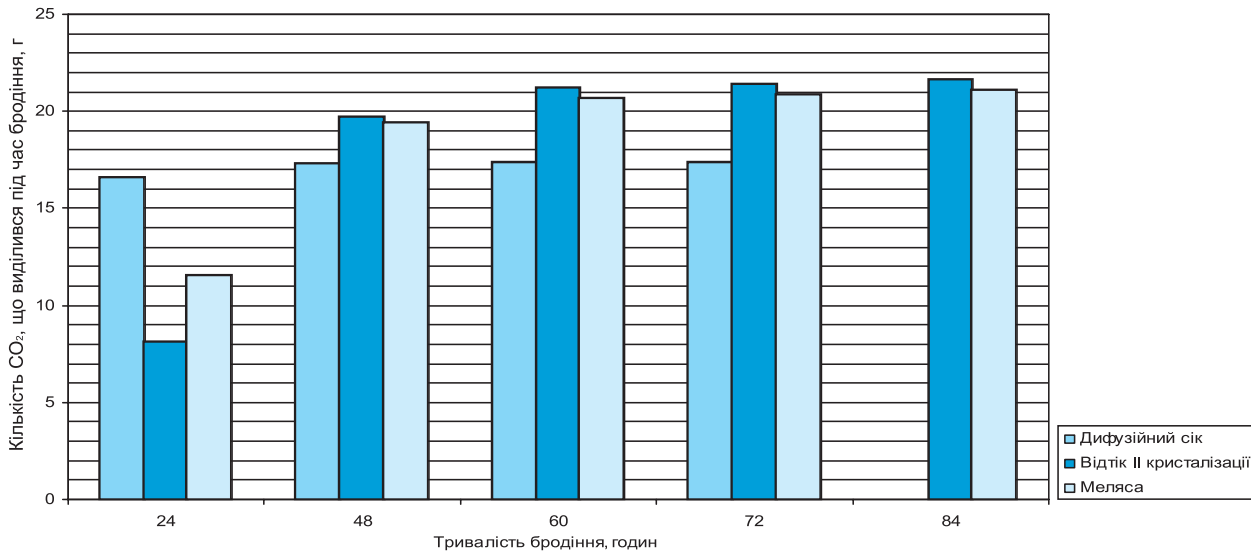


Рис. 1. Динаміка виділення CO₂ в процесі зброджування напівпродуктів цукрового виробництва

но, що вміст спирту в дистилаті відтоку через 84 години від початку бродіння був більшим на 2,9% порівняно з дистилатом мелясної бражки, за умов однакової концентрації цукрів у суслі.

Було визначено вміст незброджених цукрів у бражках і встановлено, що мінімальна їх кількість була в дифузійному соку (0,03 г/100 см³), тоді як найвищим значенням характеризується мелясна бражка (0,73 г/100 см³), що разом з меншим вмістом спирту за однакового початкового вмісту цукрів може свідчити про те, що кількість нецукрів у мелясі має досить істотний вплив на інтенсивність процесів спиртового бродіння і може уповільнювати процеси доброджування в бражці (табл. 2).

Як бачимо, якість і швидкість зброджування дифузійного соку є високою, однак, для забезпечення кращої економічної ефективності та зменшення енерговитрат при його зброджуванні в етанол, більш доцільним може бути застосування соку у суміші з іншими напівпродуктами.

Було досліджено ефективність зброджування сумішей дифузійного соку з мелясою та з відтоком другої кристалізації за умов однакового вмісту цукрів у розчині. Вміст цукрів було розрахо-

вано для отримання спирту в дистилаті в межах 11,0-11,5% об. Для проведення досліджень використовували сік з вмістом цукру 15,0%, мелясу та відтік вводили до робочого розчину в кількості, відповідно 9,0% та 7,8% до маси соку.

Слід зазначити, що при використанні суміші дифузійного соку з мелясою тривалість зброджування скорочується порівняно з суслем, приготованим на основі меляси з водою, а вміст незброджених цукрів у зрілій бражці істотно знижується, що можна пояснити тим, що з дифузійним соком вносяться додаткові біологічно активні речовини, що позитивно впливають на життєдіяльність дріжджів (табл. 3).

Зброджування суміші дифузійного соку з відтоком показало істотне збільшення вмісту спирту в дистилаті порівняно з контролем (неочищений дифузійний сік), що разом з низьким вмістом незброджених цукрів та зменшенням тривалості бродіння вказує на перспективність використання даного технологічного прийому.

Економічна доцільність перероблення відтоку другої кристалізації підтверджується розрахунками.

За потужності цукрового заводу 3000 тонн

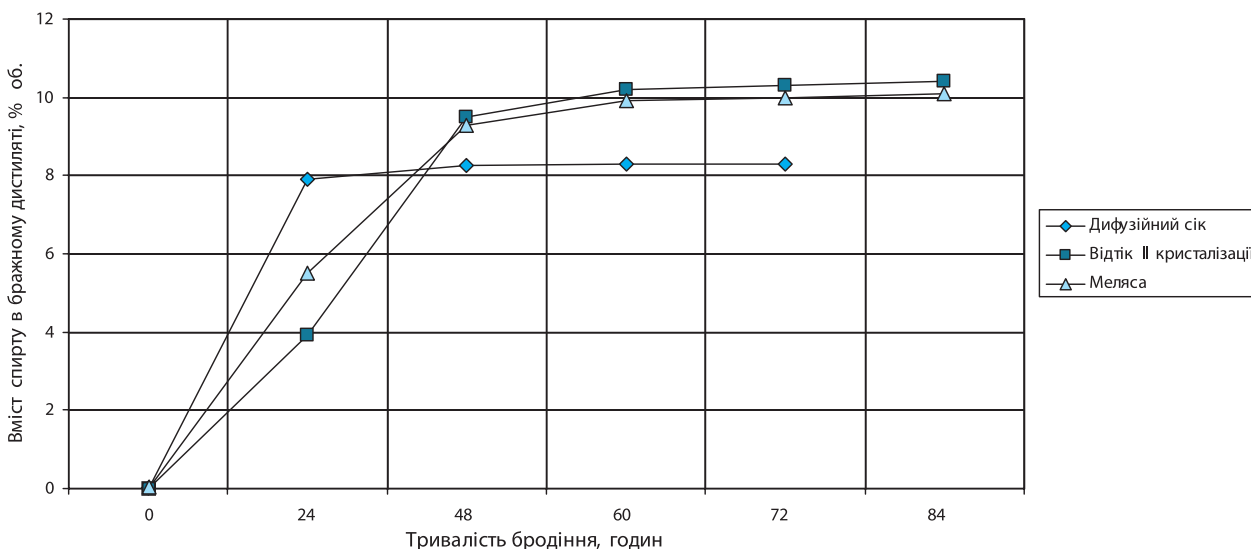


Рис. 2. Динаміка накопичення спирту в процесі зброджування напівпродуктів цукрового виробництва

Таблиця 2

Результати спиртового зброджування напівпродуктів цукрового виробництва

№ з/п	Найменування показника	Результати випробувань		
		Дифузійний сік	Відтік II кристалізації	Меляса
1	pH середовища, од.	4,20	4,50	4,80
2	Вміст етанолу, % об.	8,3	10,4	10,1
3	Вміст незброджених цукрів, г/100см ³	0,03	0,24	0,73
4	Вихід біоетанолу з 1 т сировини, дал	7,8	36,1	29,8

Таблиця 3

Результати спиртового зброджування сумішей цукровмісних продуктів на основі дифузійного соку

№ з/п	Найменування показника	Результати випробувань		
		Дифузійний сік	Дифузійний сік + відтік II кристалізації	Дифузійний сік + меляса
1	pH середовища, од.	4,16	4,50	4,86
2	Вміст етанолу, % об.	9,1	11,6	11,5
3	Вміст незброджених цукрів, г/100см ³	0,05	0,20	0,18

буряків в добу та дигестії 19% кількість відтоку складе 5,5% (165 тонн) до маси буряків, а вміст цукру в ньому – 3,23%.

Після третьої кристалізації отримуємо меляси – 4,0% (120 тонн) з вмістом цукру 1,98% та сахарози в жовтому цукрі 1,25% від маси буряків або 37,5 тонн.

За умов реалізації цукру та меляси можливий дохід складе 262,5 тис. грн. за цукор та 144 тис. грн. за мелясу, що сумарно становить 406,5 тис. грн.

При переробленні відтоку в біоетанол за його виходу 36,1 дал з 1 тонни сировини буде отримано 59565 л етанолу, що за його ціни 8,00 грн./л дасть дохід 476,5 тис. грн. Отже, валовий дохід заводу зростає на 70 тис. грн.

Висновки

1. Встановлено, що за технологічними показниками досліджені зразки дифузійного соку та відтоку після другої кристалізації цукру є ефективною сировиною для виробництва біоетанолу і забезпечують його вихід, відповідно 7,8-8,6 дал (залежно від початкового вмісту цукру в соку) та 36,1 дал з однієї тонни.

2. Зброджування неочищеного дифузійного соку характеризується високою швидкістю росту дріжджів, інтенсивністю споживання цукрів, скороченням тривалості процесу на 30% та зменшення втрат з незбродженими вуглеводами.

3. Експериментально обґрунтовано доцільність зброджування неочищеного дифузійного соку в суміші з мелясою або відтоком II кристалізації, що підвищує вміст спирту у дозрілій бражці до 11,5–11,6% об. та зменшує витрати технологічної пари на перегонку бражки.

4. Показано, що вилучення відтоку другої кристалізації з технологічного ланцюга цукрового

виробництва та переробка його в біоетанол збільшує валовий дохід цукрового заводу потужністю 3000 тонн на 70 тис. грн. на добу.

Список використаних джерел

1. *Шляхи диверсифікації цукробурякового виробництва* / Сичевський М.П., Хомічак Л.М., Олійнічук С.Т., Ярчук М.М., Калініченко М.Ф. // Цукор України, 2013. - № 4 (88). – С. 9-14.

2. *Коденська М.Ю.* Передумови розвитку та інвестування біоетанолової галузі у цукробуряковому виробництві // Міжнар. науково-технічна конференція цукровиків України «Шляхи диверсифікації виробництва продукції на цукрових заводах України» / Виступи учасників круглого столу, 2012. – С. 193-198.

3. *Використання напівпродуктів цукрового виробництва як альтернативної сировини для одержання біоетанолу* / Зубченко В.С., Грушицький М.І., Ткаченко Л.В. // Харчова промисловість, 2008. - № 7. – С. 12-14.

4. *Сапронов А.Р.* Технологія сахарного виробництва : учеб. для вузов / А.Р. Сапронов. – М. : Колос, 1998. – 495 с.

5. *Рухлядева А.П.* Технохимический контроль спиртового производства // М. : Пищевая промышленность, 1974. – 356 с.

6. *ДСТУ 3696-98 (ГОСТ 30561-98) Меляса бурякова.* Технічні умови

7. *Инструкция по химико-технологическому контролю и учету сахарного производства.* К. : 1983. – 476 с.

8. *Великая Е.И., Суходол В.Ф.* Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств.-М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 312 с.