

В.С. ЗУБЧЕНКО, кандидат фізико-математичних наук
М.І. ГРУШИЦЬКИЙ, провідний інженер ТзОВ СП «Нива»

Національний університет харчових технологій

Л.В. ТКАЧЕНКО, кандидат технічних наук,

Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології харчових продуктів

ВИКОРИСТАННЯ НАПІВПРОДУКТІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОЕТАНОЛУ

Наведено перспективи використання напівпродуктів виробництва цукру з цукрового буряку для одержання біоетанолу. Досліджено фізико-хімічний склад одного з напівпродуктів, а саме дифузійного соку цукрового виробництва, з точки зору придатності його як сировини для одержання біоетанолу. Визначено оптимальні параметри спиртового зброджування дифузійного соку для досягнення максимального виходу біоетанолу.

Ключові слова: цукрове виробництво, напівпродукти, дифузійний сік, зброджування, біоетанол

Приведены перспективы использования полупродуктов производства сахара из сахарного буряка для получения биоэтанола. Проведены исследования физико-химического состава одного из полупродуктов, а именно дифузионного сока сахарного производства, с точки зрения пригодности его использования в качестве сырья для получения биоэтанола. Определены оптимальные параметры спиртового сбраживания дифузионного сока для достижения максимального выхода биоэтанола.

Ключевые слова: сахарное производство, полупродукты, дифузионный сок, сбраживание, биоэтанол

На цей час кон'юнктура цін на зернові культури ринку України, значно підвищує собівартість біоетанолу, що робить біоетанол неконкурентно-спроможним продуктом. У зв'язку з цим розроблення технологій з використанням більш дешевої та економічно вигідної сировини для виробництва біоетанолу є актуальним завданням. Водночас з квотуванням виробництва цукру через обмежений експорт, найбільш привабливою сільськогосподарською культурою на теренах України для одержання біоетанолу є цукровий буряк, а також напівпродукти цукрового виробництва. Енергетична ефективність виробництва біоетанолу з цукрового буряка складає 170 % (відношення виробленої енергії до затраченої). Таким чином, як сировину, що відповідає вимогам сьогодення та має значні переваги з економічної точки зору, на цей час потрібно розглядати напівпродукти цукрового виробництва, а саме: дифузійний (буряковий) сік; сік першої сатурації; сік другої сатурації; цукровий сироп; відтік після кристалізації [1]. Усі перелічені напівпродукти відрізняються за вмістом сухих речовин та цукру, мають різний фізико-хімічний склад, але наявність в них достатньої кількості цукру передбачає перспективу використання їх як альтернативної сировини для виробництва біоетанолу. Доцільність виробництва біоетанолу з напівпродуктів цукрового виробництва як альтернативного джерела палива можна аргументувати тим,

що останнім часом світові запаси нафти та газу зменшуються, а ціни на ці види палива збільшуються. Рахують, що 1 л етанолу еквівалентний 0,67 л бензину.

На цей час у Франції щорічно з дифузійного соку виробляють до 1 млн гл етанолу [2]. При цьому організовано одночасну роботу цукрового і спиртового заводів, на якому зі згущеного сирого соку одержують цукор-сирець, а з відтоку шляхом ферментації — спирт. Таким чином з 100 т бурякового цукру одержують 45 т рафінаду та 25 т етанолу. До того ж, відтік, який іде на ферментацію можна зберігати.

Відомо, що Брауншвейгський інститут провів дослідження з одержання спирту на цукровому заводі Платинг [3]. Згідно розрахунків, вихід спирту з 100 т буряку становить 9700 л, вихід сухого жому — 5,5 т та 2,4 т СР барди. Вихід етанолу — від 3200 до 4900 л/га, а при вирощуванні високоврожайних сортів можна досягнути 5000 л/га. В Німеччині біоетанол за ціною може конкурувати з традиційними видами палива та мати ціну на рівні 40 \$ США за баррель, а в подальшому — до 20 \$ США.

У США промисловий етанол виробляють більш як 40 компаній приблизно на 60 цукрових заводах. Загальний вихід продукції становить 2 млрд галлонів у рік (близько 8 млрд л) [4].

Отже, проаналізувавши відомості про сировинні ресурси, які використовують за кордоном для виробництва біоетанолу, можна зробити висновок, що

розвинуті країни широкомасштабно використовують як сировину для одержання біоетанолу цукровий буряк та напівпродукти цукрового виробництва.

Метою даної роботи було дослідження складу і біотехнологічних властивостей дифузійного соку з точки зору придатності його для спиртового збродження, підбір ефективної культури дріжджів та оптимізація складу середовища для збродження дифузійного соку для одержання максимального виходу спирту.

Об'єктами досліджень були дифузійний сік, сухі дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* типу «Ферміол», процеси спиртового збродження соку та дозріла бражка. Дифузійний сік аналізували за методиками, прийнятими у практиці спиртового виробництва: концентрацію сухих речовин (СР) — ареометричним методом, величину рН — потенціометричним методом за допомогою рН метра рН-150, масову частку сахарози та інвертного цукру — за допомогою сахариметра СУ-4 [5], масову частку загального азоту — за методом К'ельдаля [6], масову частку амінного азоту — за методом формольного титрування, масову частку фосфору — колориметричним методом Бригса [7], масову частку летких кислот та сірчаного ангидриду за методиками, розробленими УкрНДспиртбіопрод; масову частку калію, кальцію за допомогою пламеного фотометру.

Процес спиртового збродження суслу в лабораторних умовах досліджували за методом «бройдильної проби» [6]. Збродження проводили у термостаті за температури 30 °С впродовж 72 та 96 годин. Дифузійний сік збагачували азотом і фосфором у вигляді діамонійфосфату і карбаміду з розрахунку, відповідно, 0,2 % і 0,1 % до маси сухих речовин соку. Контроль процесу збродження проводили за кількістю CO₂, що виділявся під час бродіння. У дозрілій бражці визначали видиму густину та істинні сухі речовини СР — ареометричним методом, вміст незброджених цукрів — методом з резорциновим реагентом [6]. В бражних дистиллятах визначали концентрацію етилового спирту ареометричним методом [5].

Досліджено фізико-хімічний склад дифузійного соку, одержаного ТзОВ СП «Нива» з урожаю цукрового буряку 2007 р. Результати досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічний склад дифузійного соку

| № за/п | Найменування показника | Результати випробувань |
|--------|-----------------------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Масова частка сухих речовин, % | 17,8 |
| 2 | рН середовища, од. | 5,3 |
| 3 | Масова частка сахарози, % | 14,2 |
| 4 | Масова частка інвертного цукру, % | 0,16 |
| 5 | Масова частка рафінози, % | 0,08 |
| 6 | Масова частка загального азоту, % | 1,61 |
| 7 | Масова частка амінного азоту, % | 0,11 |
| 8 | Масова частка фосфору, % | 0,008 |

Закінчення табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|----|-----------------------------------|------|
| 9 | Масова частка летких кислот, % | 0,29 |
| 10 | Масова частка SO ₂ , % | 0,03 |
| 11 | Масова частка кальцію, % | 0,31 |
| 12 | Масова частка калію, % | 0,32 |

Узагальнюючи одержані дані, можна зазначити, що, з одного боку, дифузійний сік має необхідну кількість цукрів, придатних для біоконверсії в спирт також містить деякі необхідні мікроелементи, але, з іншого боку, не має достатньої кількості амінного азоту та фосфору, потрібних для розвитку та життєдіяльності дріжджових клітин в процесі спиртового бродіння. Отже, за своїми технологічними показниками дифузійний сік є доброякісною сировиною для одержання біоетанолу при відпрацюванні відповідних умов для нормального розвитку спиртових дріжджів.

Результати дослідження процесу спиртового збродження сухими дріжджами вихідного дифузійного соку (контроль) впродовж 72 і 96 годин, у порівнянні з соком, збагаченим азотним та фосфорним живленням (дослід) наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати спиртового збродження дифузійного соку

| Показники дозрілої бражки | Значення показника за різних варіантів | Конт- роль | Кон- троль | Дос- лід |
|--------------------------------------|--|------------|------------|----------|
| Тривалість бродіння, годин | 72 | 96 | 72 | 96 |
| Видима густина, % СР | 2,5 | 2,4 | 1,2 | 1,2 |
| Істинні СР, % | 2,7 | 2,5 | 1,9 | 1,8 |
| рН середовища | 4,1 | 3,8 | 4,3 | 4,3 |
| Кислотність, град. | 0,55 | 0,78 | 0,45 | 0,46 |
| Концентрація етилового спирту, % об. | 6,8 | 7,0 | 7,8 | 7,8 |
| Вміст незброджених цукрів, % | 0,58 | 0,46 | 0,18 | 0,17 |
| Біомаса дріжджів, г/дм ³ | 11,2 | 12,3 | 16,4 | 16,8 |
| Вихід біоетанолу дал / 1 т соку | | | | |

Як показують одержані дані, найкращих результатів за накопиченням етилового спирту (7,8 % об.) в дозрілій бражці одержано у дослідних варіантах при внесенні у дифузійний сік азотного та фосфорного живлення, незалежно від тривалості бродіння. При цьому кількість незброджених вуглеводів, а також усі інші показники дозрілої бражки були на нормативному рівні. У контрольних варіантах за 72 та 96 год. бродіння концентрація спирту становила відповідно на 1,0 та 0,8 % об. у порівнянні з дослідними варіантами. За умов використання нативного дифузійного соку кількість незброджених вуглеводів майже в 2,5 рази перевищує нормативний показник. Це свідчить про те, що дріжджі не мають достатньої кількості поживних речовин у середовищі, і в наслідок цього біосинтез цукру в етиловий спирт проходить не до кінця. Крім того у контрольному варіанті при подовженні тривалості бродіння до 96

год. спостерігається зниження величини рН та підвищення кислотності. Це свідчить про діяльність сторонньої кислотоутворюючої мікрофлори та передбачає необхідність в процесі спиртового зброджування ефективних антисептиків.

Висновки. Досліджено склад та визначено біотехнологічні властивості дифузійного соку з точки зору придатності його для спиртового зброджування. Встановлено, що за своїми технологічними показниками дифузійний сік є доброякісною сировиною для одержання біоетанолу. Для одержання максимального накопичення етилового спирту в дозрілій бражці необхідно збагачувати нативний дифузійний сік азотом і фосфором у вигляді діамонійфосфату і карбаміду з розрахунку, відповідно, 0,2 % і 0,1 % до маси сухих речовин соку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. — М.: Колос, 1998. — 495с.
2. Альтернативные виды топлива из сахарной свеклы и продуктов ее переработки // Обз. статья : интернет , 17.09. 2007, С.5
3. Dobrzycki J. Wyroba bioetanoly// Gazeta cukrovnicza — 1992. — №1. — S.7 — 9.
4. Kunteroba L.Vyuziti cukrovki k vyrobe bioetanolanu// Listy cukrovarnicke a reparske. — 1997. — № 2. S.47—49.
5. ДСТУ 3696-98 Меляса бурякова. Технічні умови
6. Великая Е.М., Суходол В.Ф.Лабораторный практикум по общей технологии бродильных производств.—М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 312с.
7. Инструкция по химико-технологическому и микробиологическому контролю комплексной переработки мелассы на спирт и другие продукты. М.: Агропромиздат, 1986. — 220с.