

УДК 577.15:663.5 © 2009

Леонід Вікторович ЛЕВАНДОВСЬКИЙ, доктор технічних наук

Андрій Петрович МИХАЙЛІВ, здобувач

Національний університет харчових технологій, м. Київ

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ СУХИХ РЕЧОВИН СЕРЕДОВИЩА НА МЕТАБОЛІЗМ ДРІЖДЖІВ ПРИ СПИРТОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ ЗЕРНОВОГО СУСЛА

Наведено результати досліджень вмісту вторинних продуктів бродіння у дозрілій бражці при зброджуванні основного сусла з вмістом сухих речовин (СР) від 17 до 20 % дріжджами, вирощеними на середовищі концентрацією 18 та 19 % СР. З точки зору накопичення вторинних продуктів бродіння та економічності процесу найбільш прийнятним є використання для бродіння дріжджів, вирощених на суслі з 19 % СР.

Ключові слова: *технологія, сусло, дріжджі, концентрація, бражка*

Леонид Викторович ЛЕВАНДОВСКИЙ, доктор технических наук

Андрей Петрович МИХАЙЛІВ, соискатель

Национальный университет пищевых технологий, г. Київ

Приведены результаты исследований содержания вторичных продуктов брожения в зрелой бражке при сбраживании основного сусла с содержанием сухих веществ (СВ) от 17 до 20 % дрожжами, выращенными на среде концентрацией 18 и 19 % СВ. С точки зрения накопления вторичных продуктов брожения и экономичности процесса наиболее эффективным является использование для сбраживания дрожжей, которые выращены на сусле с 19 % СВ.

Ключевые слова: *технология, сусло, дрожжи, концентрация, бражка*

Leonid Levandovskiy

Andrey Myhailiv

National university of food technology

Results on the content of secondary products of fermentation in spirit brew during the fermentation of the wort with the main content of dry substanses (DS) of 17 to 20% of yeast grown on a medium concentration of 18 and 19% DS. In terms of accumulation of secondary products of fermentation and efficiency of the process is the most effective use for the fermentation of yeast, which are grown on wort with 19% DS.

Key words: *technology, wort, yeast, concentration, spirit brew*

Серед основних вимог до властивостей дріжджів у технології спирту із зерна є глибоке зброджування вуглеводів з максимальною швидкістю, стійкість до інфікуючої мікрофлори, підвищеної температури та осмотичного тиску тощо [1,2]. Але першочерговою властивістю дріжджів має бути забезпечення ними максимально високого коефіцієнту перетворення вуглеводів сировини у цільовий продукт із якомога меншим утворенням інших продуктів бродіння. Ці речовини мають назву вторинних продуктів бродіння. До основних із них відносяться: гліцерин, альдегіди, леткі кислоти, складні ефіри, вищі спирти. Вони є продуктами складних катаболічних перетворень вуглеводів та деяких інших речовин суслу у процесах, що супроводжують багатостадійну реакцію гліколізу при анаеробному бродінні [3,4]. Чим більше утворюється цих речовин, тим більшими є непродуктивні витрати зброджуваних вуглеводів та меншим -- вихід спирту.

Науковцями встановлено, що рівень накопичення вторинних продуктів бродіння в значній мірі залежить від умов функціонування дріжджів: наявність лімітуючих та інгібуючих факторів середовища супроводжується зменшенням економічності перетворення зброджуваних цукрів у спирт внаслідок посилення утворення інших (вторинних) продуктів метаболізму дріжджів [5].

Динаміка утворення вторинних продуктів бродіння достатньо ґрунтовно досліджена у процесах дріжджегенераування та спиртового зброджування мелясного сусла вітчизняними вченими [6], а у технології спирту із зерна цій важливій проблемі не приділено достатньої уваги, зокрема поясненню одержаних експериментальних даних [5]. Враховуючи, що ця технологія розвивається у напрямку підвищення концентрації сухих речовин (СР) перероблюваного сусла, питання визначення особливостей метаболізму дріжджів набуває наукового та практичного значення.

Метою наших досліджень було визначення особливостей метаболізму дріжджів в залежності від концентрації СР сусла для культивування дріжджів та основного зернового сусла.

Об'єкти та методи досліджень. Об'єктом досліджень були дріжджі спиртового виробництва, що вирощені на суслі різної концентрації СР (16, 17, 18 та 19 %), процес спиртового зброджування сусла різної концентрації СР (17, 18, 19 та 20 %), показники дозрілої бражки та вміст у ній вторинних продуктів бродіння.

Експерименти з культивування дріжджів та зброджування зернового сусла виконували наступним чином. Зерно пшениці крохмалистістю 55 % подрібнювали з одержанням помелу, 90% якого проходило крізь сито з діаметром отворів 1мм. Замість готували, змішуючи помел з водою у співвідношеннях, які забезпечували одержання сусла для дріжджів концентрацією 16, 17, 18 та 19 %, а основного сусла (для спиртового зброджування) -- 17, 18, 19 та 20 % СР. Декстринізацію крохмалю замісу здійснювали за допомогою термостабільної амілази ФП Термаміл СЦ (доза 400 мл/т крохмалю) протягом 2 годин за $t = 90-95^{\circ} \text{C}$.

Оцукрювання крохмалю здійснювали введенням ФП Сан Екстра (містить глюкоамілазу) із розрахунку 1200 мл на 1т крохмалю і витримкою середовища за $t = 55-56^{\circ} \text{C}$ протягом 30 хв. Оцукрене сусло зброджували дріжджами *Sacharomyces cerevisiae* раси XII-Т, вирощеним на суслі різних концентрацій, та додавали їх у кількості 10% до об'єму основного сусла. Зброджування сусла

проводили у скляних колбах (0,75л) у термостаті ($t=30-31^{\circ}\text{C}$) протягом 72 - 84 год.

Динаміку процесу зброджування оцінювали за масою виділеного із бражки CO_2 з інтервалом 24 год. Дозрілу бражку аналізували традиційними методами [4]: рН середовища – потенціометричним, видиму густину та істинні СР – аерометричним, загальні та водорозчинні незброджені цукри і нерозчинний крохмаль – колориметричним антроновим, концентрацію спирту – пікнометричним. Вміст летких кислот та естерів визначали титрометричним методом, альдегідів – колориметричним з фуксинсірчистим реактивом, а вищих спиртів – колориметричним з парадиметиламінобензальдегідом.

Математична обробка одержаних результатів експериментів здійснена з використанням програми Excel – 2000, за допомогою якої побудовані графіки у вигляді ліній трендів, виконано їх апроксимацію та отримано математичні моделі у вигляді полінома 2 ступеня.

Результати досліджень та їх обговорення. У зв'язку з тим, що попередніми нашими дослідження виявлено перевагу засівних дріжджів, вирощених на суслі з концентрацією 18 та 19 % СР, представляло інтерес дослідити особливості метаболізму цих дріжджів при зброджуванні ними сусла з різним вмістом СР у діапазоні 17 -- 20 % СР. Одержані дані свідчать про наступне.

З підвищенням концентрації СР зброджуваного сусла спостерігається така динаміка утворення сивушних масел в бражці для дріжджів обох варіантів (рис.1,б): приблизно однакова їх кількість в межах кожного із варіантів у бражці з початковою концентрацією СР 17,18, та 19 % (для дріжджів, що вирощені на суслі з 18 % СР – 4,7-5.0 мг/дм³ б. с., а для вирощених на суслі з 19 % СР – 3,9-4,4 мг/дм³) і помітне зменшення (до 3,2 мг/дм³ у обох варіантах) при зброджуванні сусла з 20 % СР. Таке явище можна пояснити відомою закономірністю, згідно з якою накопичення вищих спиртів має пряму залежність від інтенсивності розмноження дріжджів. Збільшення ж

концентрації СР зброджуваного сусла до таких високих значень як 20 % є гальмуючим фактором для інтенсивного розмноження дріжджів.

Утворення летких кислот (рис. 1,а) майже не залежало від використаних дріжджів, але мало тенденцію до поступового зменшення при підвищенні концентрації основного сусла у досліджуваних межах : з 336 до 237 мг/дм³ б. с. (дріжджі з 18 % СР) та від 348 до 240 мг/дм³ б. с. (дріжджі з 19% СР).

Вміст естерів у дозрілих бражках при використанні в якості засівних дріжджів, що вирощені на більш концентрованому середовищі (19% СР), мав екстремальний характер з максимумом при СР основного сусла 18 і 19 % (2,58 – 2,65 мг/дм³ б.с.), а в останньому варіанті (20 %СР) кількість естерів була найменшою –1,68 мг/дм³ б.с. (рис. 1,в). Така динаміка утворення цих речовин свідчить про складний характер біохімічних процесів, на перебіг яких впливають, з одного боку, підвищення осмотичного тиску середовища з більш високим вмістом СР (це інгібуючий фактор), а з другого – збільшення кількості живильних речовин у суслі з більшим вмістом СР (сприятливий для дріжджів фактор).

При цьому слід зазначити, що застосування дріжджів з 18 % СР для зброджування сусла концентрацією 17, 18 та 19 % СР несуттєво впливало на зміну кількості естерів у дозрілій бражці (1,9 – 2,15 мг/дм³ б.с.), а при СР основного сусла 20 % їх вміст зменшувався до 1,6 мг/дм³ б.с. (рис. 1,в).

Аналіз результатів визначення альдегідів в аналогічних варіантах досліджень (рис. 2,а) свідчить про подібність закономірності накопичення їх та естерів. Найменша кількість альдегідів також виявлена у дозрілих бражках, одержаних зброджуванням сусла з найбільшим вмістом СР (20%) дріжджами обох варіантів, причому дріжджі з 19 % СР накопичували їх дещо менше (43 мг/дм³ б.с.), ніж дріжджі з 18 % СР (74 мг/дм³ б.с.).

Визначення кількості метанолу цікавило нас з точки зору можливого впливу цього леткого компонента на якість кінцевого продукту технології – ректифікованого спирту. Як видно з рис. 2,б, із підвищенням СР зброджуваного сусла кількість метанолу має загальну тенденцію до зменшення в обох

варіантах: з 0,0092 і 0,0085 об.% (основне сусло – 17 % СР) до 0,0056 і 0,0045 об. % (основне сусло – 20 % СР). Але оскільки метанол не є продуктом метаболізму дріжджів, а утворюється при гідролізі пектинових речовин зерна, то очевидно, що виявлений характер вмісту цієї речовини (на відміну від усіх проаналізованих у даному дослідженні) не залежить від фізіологічної активності дріжджів. На величину вмісту метанолу в дозрілій бражці впливають, в основному, способи та режими теплоферментативної обробки зернового замісу та умови оцукрювання розвареного замісу, що доведено іншими вченими [5]. Можна висловити припущення, що збільшення концентрації СР у замісі певною мірою гальмує процес розщеплення метилового ефіру полігалактуранової кислоти і утворення метилового спирту.

Тенденція до зменшення концентрації метанолу в бражці, що виявлена в наших дослідженнях, є додатковим аргументом на користь використання сусла підвищеної концентрації для спиртового зброджування.

Математичною обробкою одержаних даних визначено апроксимаційні залежності впливу концентрації сухих речовин сусла спиртового виробництва (X) на вміст у дозрілій бражці (Y):

- *Естерів* (мг/дм³ б.с. · 10⁻³):
 - дріжджі вирощено на суслі 18% СР
 $Y = -0,19 \cdot x^2 + 6,8 \cdot x - 60,4$
 - дріжджі вирощено на суслі 19% СР
 $Y = -0,4 \cdot x^2 + 14,7 \cdot x - 132,8$
- *летких кислот* (мг/дм³ б.с. · 10⁻²):
 - дріжджі вирощено на суслі 18% СР
 $Y = 7,5 \cdot x^2 - 316,1 \cdot x + 3558,1$
 - дріжджі вирощено на суслі 19% СР
 $Y = -5,8 \cdot x^2 + 181,6 \cdot x - 1093,1$
- *вищих спиртів* (мг/дм³ б.с. · 10⁻³):
 - дріжджі вирощено на суслі 18% СР
 $Y = -0,3 \cdot x^2 + 10,9 \cdot x - 94,7$
 - дріжджі вирощено на суслі 19% СР
 $Y = -0,45 \cdot x^2 + 16,2 \cdot x - 140,2$
- *альдегідів* (мг/дм³ б.с.)

- дріжджі вирощено на суслі 18% СР

$$Y = -21,3 \cdot x^2 + 778,6 \cdot x - 6993$$

- дріжджі вирощено на суслі 19% СР

$$Y = -35,5 \cdot x^2 + 1309,1 \cdot x - 11927$$

■ метанолу (об.% · 10³)

- дріжджі вирощено на суслі 18% СР

$$Y = -0,18 \cdot x^2 + 5,3 \cdot x - 30,8$$

- дріжджі вирощено на суслі 19% СР

$$Y = -0,88 \cdot x^2 + 31,1 \cdot x - 268,3$$

Висновки. Наведено результати досліджень накопичення вторинних продуктів бродіння у дозрілій бражці свідчать про відсутність лімітування та інгібування дріжджів, вирощених на середовищі підвищеної концентрації СР (18 і 19 %), при зброджуванні ними основного сусла з вмістом СР від 17 до 20 % СР. З точки зору накопичення вторинних продуктів бродіння найбільш прийнятним є використання дріжджів, вирощених на суслі 19 % СР. Мінімальний вміст продуктів метаболізму дріжджів спостерігається при збільшенні концентрації СР зброджуваного сусла до 20 % СР. Можна припустити, що подальше збільшення цієї концентрації дозволить посилити функціональну активність дріжджів, але у даний час одержання такого замісу і сусла є проблематичним, бо висока в'язкість замісу вимагає значних наднормативних витрат дорогих розріджуючих ФП, що економічно недоцільно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И. и др. Рациональный выбор расы спиртовых дрожжей // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2001. - №2. – С.19-21.

2. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Трифонова В.В. и др. Осмофильные дрожжи для сбраживания высококонцентрированного сусла // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2001. - №1. – С.21-23.

3. Кисла Л., Мудрак Т., Мокляк Н., Погорелов В. Підвищення дріжджової активності // Харчова і переробна пром-сть. – 1997. - №7. – С.22-23.

4. *Воронцова Н.Н., Чередниченко В.С., Абрамова И.М. и др.* Влияние ферментативной активности засевных спиртовых дрожжей на биосинтез этанола // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2001. - №2. – С.18.

5. *Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т.* Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. – К.: Асканія, 2009. – 424 с.

6. *Левандовський Л.В.* Наукове обґрунтування і розробка прогресивних технологій спирту і хлібопекарних дріжджів з меляси в спиртовому виробництві: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.07 / УДУХТ. – Київ, 1995. – 43 с.

7. *Полыгадина Г.В.* Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. – М.: Колос, 1999. – 336 с.

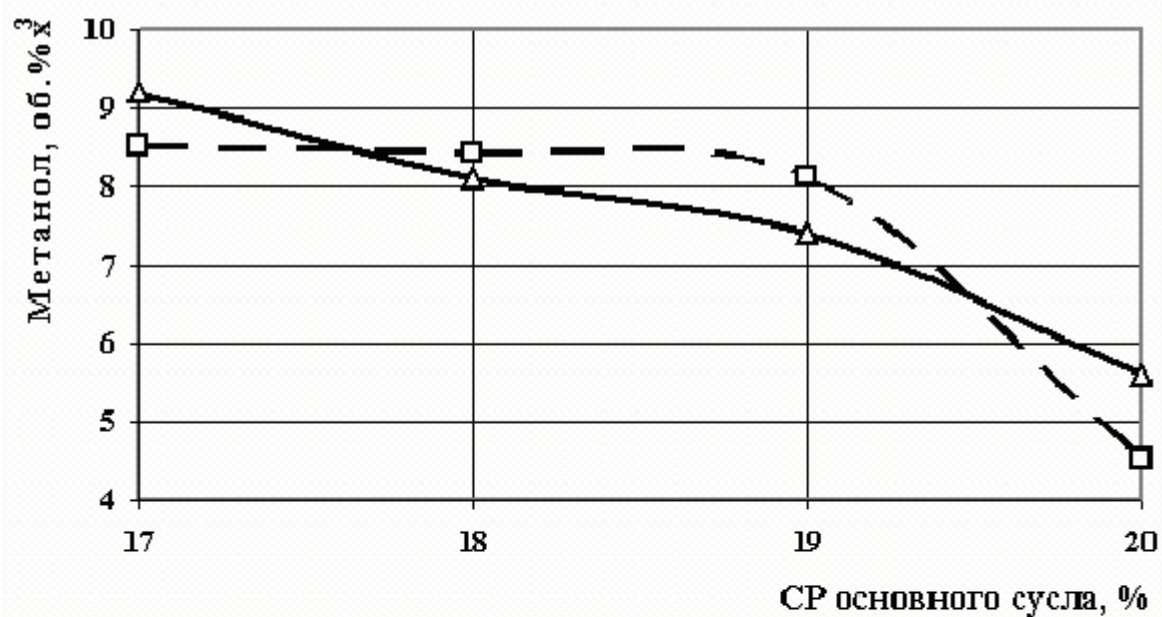
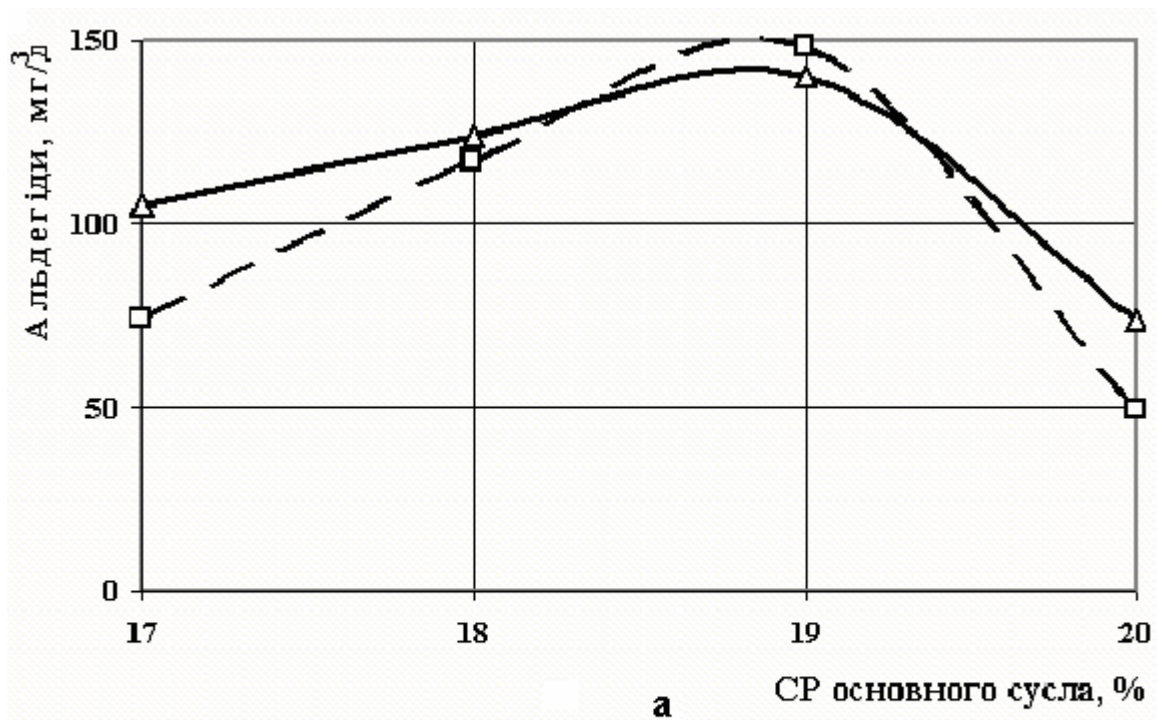
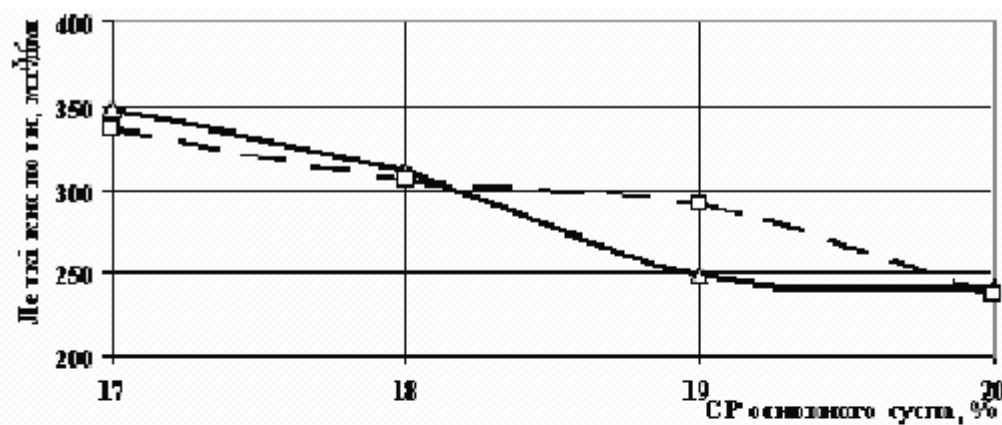
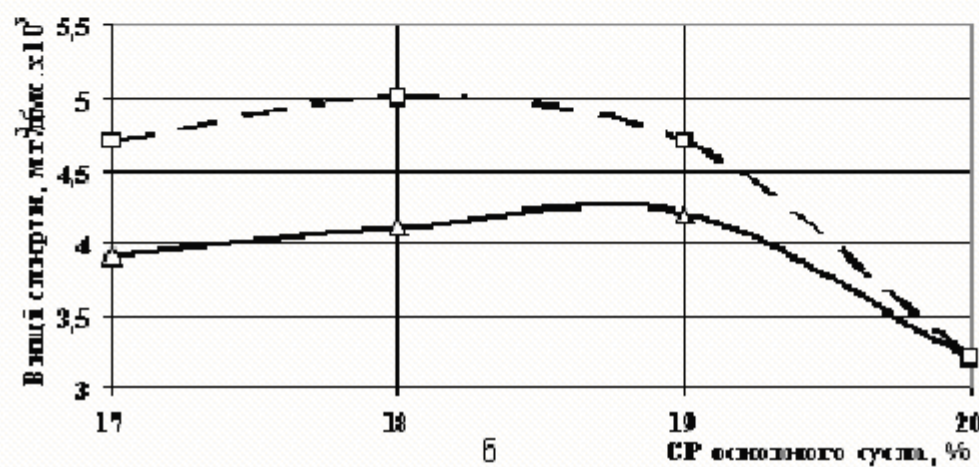


Рис.2 Вплив СР основного сусла на накопичення у дозрілій бражці: а - альдегідів; б - метанолу

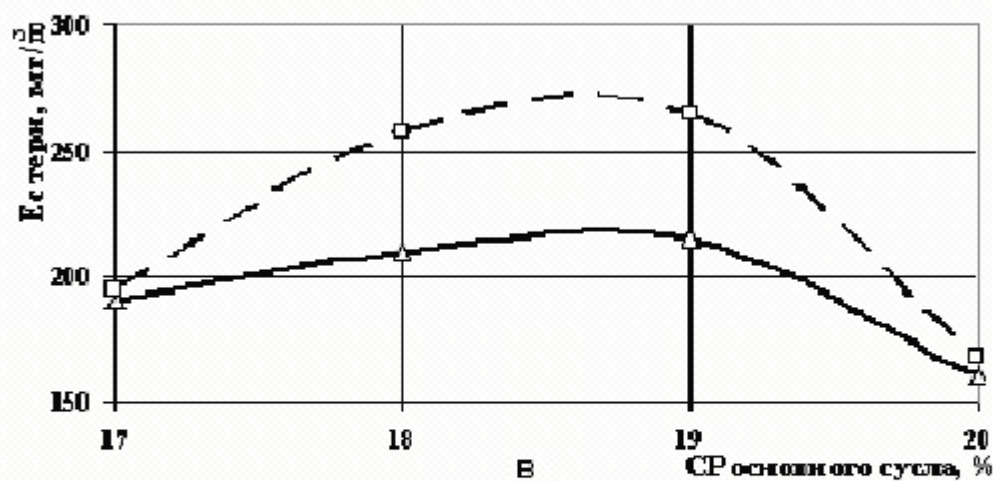
- △— Дріжджі вирощені на суслі з 18% СР
- Дріжджі вирощені на суслі з 19% СР



а



б



в

Рис.1 Вплив CP основного суслу на накопичення у дозрілій боажці: а - легких кислот; б - вищих спиртів; в - естерів

- Δ— Дріжджі вирощені на суслі з 18% CP
- Дріжджі вирощені на суслі з 19% CP