

УДК 663.533

ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF DISTILLER'S WORT

I. Boiarchuk, P. Shiyan, T. Mudrak, A. Kuts

National University of Food Technologies

<p>Key words:</p> <p><i>Fermentation Wort Distiller's solubles Soluble carbohydrates Insoluble starch Frequency of use of distiller's solubles</i></p> <hr/> <p>Article history: Received 13.11.2015 Received in revised form 27.11.2015 Accepted 20.12.2015</p> <hr/> <p>Corresponding author: I. Boiarchuk E-mail: npnuft@ukr.net</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>Today the priority for distillery industry in Ukraine is to increase ethanol exports to the EU. Under the conditions when supply exceeds demand, special attention should be paid to profitability. Due to the production of various types of commodity products, alcohol industry has to ensure the quality modeling of alcohol meeting the demands of different customers. The enterprises, which are able to modernize their production according to European standards, will not only survive but also enter the foreign markets. The research of alcoholic fermentation of starch materials with the replacement of industrial water by distiller's solubles at the stage of batching was conducted. It was established that the use of distiller's solubles influences the technological characteristics of the aged wort. The optimum amount and frequency of using distiller's solubles at the stage of batching were determined. The technological scheme of stepwise hydrolysis of starch-containing raw material with heat recovery was developed.</p>
---	---

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ СПИРТОВОЇ БРАЖКИ

Я.А. Боярчук, П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, А.М. Куц

Національний університет харчових технологій

На сьогодні для спиртової промисловості України першочерговим завданням є збільшення експорту етанолу у країни Євросоюзу. В умовах, коли пропозиція перевищує попит, особливу увагу приділяють рентабельності виробництва. У зв'язку з виробництвом різних видів товарної продукції спиртова галузь повинна забезпечити можливість моделювання якості спирту під умови замовника. Ті підприємства, які зможуть модернізувати виробництво під євростандарти, здатні не лише вижити, а й завоювати зовнішні ринки. Проведено дослідження спиртового зброджування крохмалевмісної сировини із заміною технологічної води фільтратом барди на стадії приготування замісу. Встановлено, що використання фільтрату барди впливає на технологічні показники дозрілої бражки. Визначено оптимальну кількість і кратність використання фільтрату барди на стадії приготування замісу. Розроблено технологічну схему постадійного гідролізу крохмалевмісної сировини із рекуперацією тепла.

Ключові слова: зброджування, сусло, фільтрат барди, водорозчинні вуглеводи, нерозчинний крохмаль, кратність використання фільтрату барди.

Постановка проблеми. Входження України до загальноєвропейського ринку вимагає від підприємств спиртової галузі зниження собівартості продукції за рахунок розробки і впровадження інноваційних технологій, які забезпечать збільшення питомого виходу товарної продукції при максимальній утилізації відходів виробництва.

У Національному університеті харчових технологій ведуться системні дослідження, спрямовані на розробку ресурсо- та енергозберігаючих технологій спиртового виробництва і зниження впливу шкідливих відходів на навколишнє середовище, зокрема інтенсифікація процесу приготування спиртової бражки з крохмалевмісної сировини й утилізації післяспиртової барди.

Основним відходом спиртових заводів є післяспиртова барда, кількість якої залежить від концентрації спирту в бражці, бражному дистилаті та кількості конденсату гріючої пари, яка витрачається на брагоперегонку при «відкритому» обігріві бражної колони. Кількість післяспиртової барди в середньому становить 11...13 дал на 1 дал спирту.

Післяспиртова барда являє собою складну полідисперсну систему, до складу якої входять органічні та мінеральні речовини зерна, дріжджова біомаса, що збагачують її білковими речовинами, амінокислотами й цілим комплексом вітамінів. Використання фільтрату барди на стадії приготування замісів дозволяє не тільки знизити її загальну кількість, але й збагачує сушло амінім азотом, підвищує фізіологічну активність дріжджів на стадії їх приготування та зброджування сусла, а також збільшує питомий вихід спирту [1].

Зернова барда — це якісний кормовий продукт для худоби, який містить до 30 % білка на суху речовину. Через відсутність великих комплексів з відгодівлі худоби більша частина післяспиртової барди потрапляє на поля фільтрації, що негативно впливає на довкілля та забруднює землі сільськогосподарського призначення. Утилізація барди при концентрації в ній сухих речовин (СР) 5...8 % шляхом випарювання з подальшим висушуванням призводить до значних енерговитрат, потребує додаткового обладнання при окупності первинних інвестицій за 4...6 років. Крім того, при підготовці крохмалевмісної сировини до гідролізу витрачається 300...400 % технологічної води до маси зерна [2, 3].

Існує позитивний досвід часткової (до 30...40 %) заміни технологічної води фільтратом барди та розведення концентрованого сусла фільтратом барди на стадії бродіння [4].

Середня кількість фільтрату барди при концентрації спирту в бражці 12...13 об.% і закритому обігріві бражної колони складає 60...65 % від загальної кількості води, потрібної для приготування замісу [4].

Мета дослідження полягає у вивченні впливу кількості фільтрату барди й кратності його використання на процеси зброджування сусла і технологічні показники дозрілої бражки.

Викладення основного матеріалу. Для досліджень використовували кукурудзу крохмалистістю 68,1 % концентрації сусла 21,2 % СР. Термоферментативну обробку зернових замісів проводили при температурі 85...90 °С із використанням термостабільної α -амілази (Tegamyl HS 77 L) з розрахунку 0,5 од. АЗ/г крохмалю при експозиції 3 години. Гідроліз розріджуваного замісу до зброджування цукрів проводили глюкоамілазним ферментним

препаратом (Diazyme SG) із розрахунку 6 од. ГлЗ/г крохмалю при температурі 55...60 °С і експозиції 30 хв.

Зброджували сусло при температурі 32...35 °С дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* ДО-11 (селекція НУХТ) [5]. Концентрація крохмалю в зерні, гранулометричний склад помелу, концентрацію сухих речовин визначали за методиками прийнятими в спиртовій галузі. В зрілій бражці рН визначали електрометричним методом, концентрацію етанолу — пікнометричним та аерометричним методом, вуглеводів — фотоелектроколометричним методом із антроновим реактивом [6]. В'язкість сусла та фільтрату післяспиртової барди визначили за допомогою віскозиметра «Брукфільда DV-E».

Використання фільтрату барди здійснювали до 6 циклів при коефіцієнті рекуперації фільтрату барди (КРБ) 0,2; 0,3; 0,4; 0,6:

$$\text{КРБ} = G_{\text{фб}} / G_{\text{в}},$$

де $G_{\text{фб}}$ та $G_{\text{в}}$ — вага фільтрату барди та загальна кількість води на заміс відповідно, кг.

Аналіз хіміко-технологічних показників сусла та бражки показав (табл. 1), що рН сусла знижується залежно від кількості внесеного фільтрату барди та циклів використання. Так, у контрольному зразку рівень рН сусла становив 6,21, із підвищенням кількості фільтрату барди цей показник знижувався і при 60 % заміні води фільтратом барди (КРБ = 0,6) він складав 5,8, а на шостому циклі — 4,45.

Таблиця 1. Вплив циклів використання фільтрату барди на хіміко-технологічні показники бражки

№ п/п	КРБ	СР, %	рН сусла	рН бражки	Вуглеводи бражки г/100 см ³				Концентрація гліцерину, г/100 см ³	Концентрація етанолу, % об.	Концентрація дріжджових клітин, млн/см ³
					Водорозчинні	Нерозчинний крохмаль	Спирто-розчинні	Декстрини			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	I цикл контроль	21,20	6,21	4,50	0,235	0,061	0,094	0,127	0,71	11,20	160
2.	0,6	22,00	5,80	4,64	0,321	0,083	0,128	0,173	0,85	11,50	198
3.	0,4	21,67	5,97	4,57	0,316	0,082	0,126	0,170	0,84	11,33	195
4.	0,3	21,50	6,00	4,46	0,269	0,070	0,108	0,145	0,80	11,30	169
5.	0,2	21,27	6,14	4,37	0,264	0,069	0,106	0,142	0,78	11,25	166
6.	II цикл контроль	21,25	6,35	4,51	0,243	0,063	0,097	0,131	0,73	11,23	155
7.	0,6	22,10	5,50	4,60	0,342	0,089	0,137	0,185	0,95	11,55	210
8.	0,4	21,77	5,57	4,53	0,337	0,088	0,135	0,182	0,94	11,38	207
9.	0,3	21,62	5,60	4,47	0,287	0,075	0,115	0,155	0,85	11,33	178
10.	0,2	21,19	5,75	4,38	0,281	0,074	0,113	0,152	0,83	11,28	174
11.	III цикл контроль	21,20	6,23	4,50	0,220	0,057	0,088	0,119	0,70	11,20	163
12.	0,6	22,10	5,29	4,60	0,385	0,100	0,154	0,208	1,02	11,41	215
13.	0,4	21,77	5,43	4,53	0,379	0,099	0,152	0,205	1,00	11,29	212

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14.	0,3	21,74	5,52	4,47	0,315	0,082	0,126	0,170	0,98	11,25	179
15.	0,2	21,31	5,63	4,38	0,309	0,080	0,123	0,167	0,96	11,23	175
16.	IV цикл контроль	21,23	6,26	4,48	0,245	0,064	0,098	0,132	0,72	11,18	158
17.	0,6	22,30	5,05	4,57	0,463	0,120	0,185	0,250	1,08	11,35	219
18.	0,4	21,97	5,17	4,50	0,456	0,118	0,182	0,246	1,06	11,25	216
19.	0,3	21,81	5,22	4,45	0,354	0,092	0,142	0,191	1,03	11,23	180
20.	0,2	21,37	5,34	4,36	0,347	0,090	0,139	0,187	1,01	11,21	176
21.	V цикл контроль	21,20	6,23	4,50	0,233	0,061	0,093	0,126	0,71	11,22	161
22.	0,6	22,45	4,61	4,52	0,503	0,150	0,201	0,272	1,07	11,28	218
23.	0,4	22,11	4,92	4,45	0,485	0,148	0,198	0,268	1,05	11,25	215
24.	0,3	21,93	5,13	4,40	0,394	0,118	0,158	0,213	1,04	11,23	185
25.	0,2	21,49	5,24	4,31	0,386	0,116	0,155	0,209	1,02	11,20	181
26.	VI цикл контроль	21,25	6,21	4,51	0,258	0,067	0,103	0,139	0,73	11,20	160
27.	0,6	23,11	4,45	4,45	0,558	0,178	0,223	0,301	1,11	11,22	216
28.	0,4	22,76	4,78	4,42	0,500	0,175	0,220	0,296	1,11	11,22	213
29.	0,3	22,00	5,11	4,40	0,415	0,120	0,166	0,224	1,11	11,23	182
30.	0,2	21,56	5,01	4,31	0,407	0,118	0,163	0,220	1,10	11,20	178

На основі досліджень встановлено, що з підвищенням циклів використання фільтрату барди знижується не тільки рН замісу, а й зростає його в'язкість (рис. 1). На перших двох циклах використання фільтрату барди в'язкість розрідженого замісу змінюється в достатньо вузькому діапазоні — 1,1...1,7 Па·с. На третьому циклі в'язкість зростає до 1,3...2,7 Па·с, але фільтрат барди зберігає достатню текучість, тому можливе використання відцентрових насосів.

Уже на четвертому циклі в'язкість розрідженого замісу підвищувалась до 1,5...3,2 Па·с і при коефіцієнті рекуперації фільтрату барди 0,6 його перекачування відцентровими насосами значно ускладнюється.

Поступове зростання в'язкості замісу може бути викликано підвищеною концентрацією органічних кислот і частковою коагуляцією білків із подальшою адсорбцією на них ферментів, що негативно впливає на активність α -амілаз.

Концентровані ФП володіють селективною дією з відповідним оптимум рН, температурою й експозицією.

З метою збільшення циклів використання фільтрату барди та зниження в'язкості розрідженого замісу на стадії приготування замісу був використаний протеолітичний ферментний препарат *Alphalase AFP* із розрахунку 0,035 ПЗ/г сировини та кислотійка α -амілаза — *Amylex A3* — 0,25 АЗ/г крохмалю (що становить 50 % від загальної кількості внесеної α -амілази) при експозиції 30 хв і температурі 55...57 °С на стадії приготування замісу. З подальшим підвищенням температури до 65...70 °С при експозиції 120 хв та остаточним розрідженням при температурі 90 °С протягом 60 хв за наявності термостабільної α -амілази *Tegamyl HS 77 L*. Заміс охолоджували до 32 °С, додавали ферментний препарат *Tegamyl GA 400 L* із розрахунку 6 од. ГлЗ/г крохмалю і зброджували протягом 72 год.

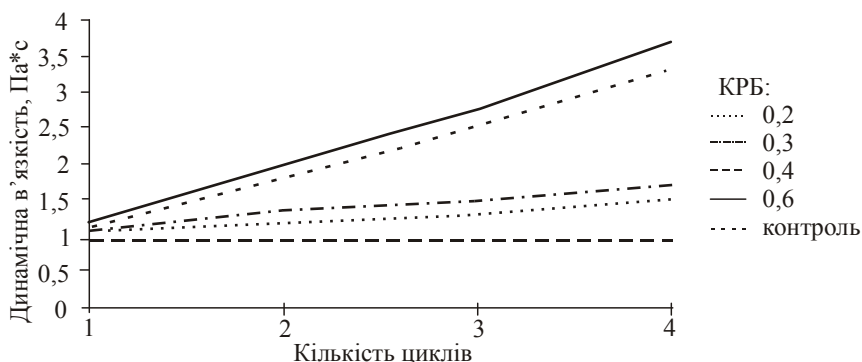


Рис. 1. Вплив коефіцієнта рекуперації фільтрату барди і кількості циклів на динамічну в'язкість замісу

При вказаних параметрах термоферментативної обробки сировини з використанням фільтрату барди в'язкість розрідженого замісу при КБР 0,6 на 6 циклі збільшувалась з 1,23 Па·с до 2,3 Па·с (рис. 2) при граничному значенні в'язкості не більше 3,0 Па·с [1].

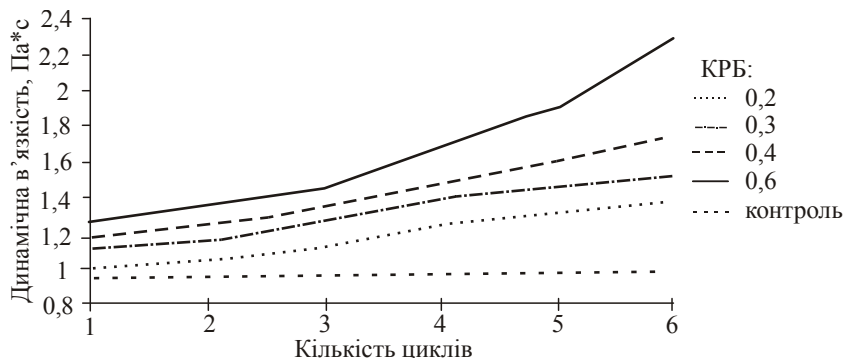


Рис. 2. Вплив коефіцієнта рекуперації фільтрату барди і кількості циклів на динамічну в'язкість замісу при використанні комплексу ферментних препаратів

Із зростанням кількості циклів використання фільтрату барди концентрація водорозчинених вуглеводів бражки поступово зростає і на шостому циклі підвищується в 1,57 та 2,16 рази відповідно до кількості фільтрату барди (табл. 1).

На шостому циклі зброджування сусла при КРБ 0,6 відбувається підвищення концентрації декстринів до 0,3 г/100 см³ бражки, що свідчить про часткову інактивацію глюकोамілази, в результаті чого знижувалася концентрація спирту в бражках порівняно з першим циклом на 2,43 %. Синтез дріжджових клітин з підвищенням кількості фільтрату барди зростав у 1,05...1,35 рази порівняно з контрольним зразком і практично не змінювався від кількості циклів. Протягом 6 циклів дріжджі були однорідними за розмірами, мали круглу форму, але кількість мертвих клітин із підвищенням циклів поступово зростала і на 6 циклі збільшилася на 10—15 %.

Концентрація гліцерину в бражці підвищувались залежно від кількості фільтрату барди з 1,1...1,2 на 1 циклі до 1,4...1,5 на шостому циклі, що ймовірно пов'язане із збільшенням дріжджової популяції та її біосинтетич-

ною активністю, а також із частковим поверненням гліцерину з фільтратом барди на стадії приготування замісу.

На підставі отриманих даних запропонована енергозберігаюча технологія поетапного термоферментативного гідролізу біополімерів зерна та їх залишків у фільтраті барди на стадіях приготування замісу, термоферментативної обробки, оцукрення та збродження (рис. 3).

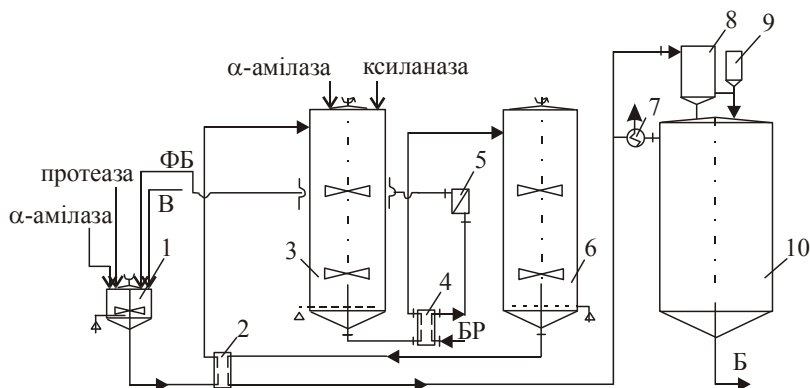


Рис. 3. Технологічна схема поетапного термоферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини:

1 — змішувач; 2, 4 — рекуперативні теплообмінники; 3 — ТФО першого ступеня; 5 — бардяний фільтр; 6 — ТФО другого ступеня; 7 — охолоджувач суслу; 8 — дріжджанка; 9 — збірник ФП — глюкоамілази; 10 — бродильний апарат; БР — барда, ФБ — фільтрат барди, В — вода, Б — бражка

Таблиця 2. Технологічні параметри поетапного термоферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини

№ п/п	Технологічні стадії	Технологічні параметри			
		pH	Температура, °C	Експозиція, хв	Витрати, кг/т крохмалю (од. активності)
1	Приготування замісу ФП — кислотостійка α-амілаза (Amylex A3)	≥4,0	55...57	30...45	0,08...0,1 (0,25)
	ФП — протеаза (Alphalase AFP)				0,05...0,06 (0,035)
2	ТФО — першого ступеня ФП — ксиланаза (Laminex BG2) *	≥4,0	65...70	60...90	0,02...0,03 (4,0)
3	ТФО — другого ступеня ФП — α-амілаза термостабільна (Tegamyl HS 77 L)	≥4,0	80...90	90	0,25...0,4 (0,25)
4	Дріжджегенерація ФП — кислотостійка глюкоамілаза (Tegamyl GA 400 L)	≥4,0	55...60	30	0,6...0,7 (6,0)
5	Бродіння ФП — кислотостійка глюкоамілаза (Tegamyl GA 400 L)	≥4,0	32...34	64...72 год	0,6...0,7 (6,0)

* При переробці жита, пшениці, тритікале і ячменю.

Висновки

Із зростанням кількості циклів використання фільтрату барди концентрація водорозчинних вуглеводів бражки зростає і на шостому циклі при коефіцієнті рекуперації барди 0,6 підвищується в 2,2 раза, при цьому концентрація декстринів досягає 0,3 г/см³, а концентрація спирту в бражці знижується в середньому на 2,4 %. Для зниження в'язкості сусла та досягнення нормативних показників спиртової бражки необхідно використовувати, залежно від виду сировини, додаткові ферментні препарати протеазної і ксиланазної дії.

Для забезпечення багаторазового використання фільтрату барди на стадії приготування зернових замісів більш глибокого гідролізу біополімерів зерна та зменшення їх залишків у фільтраті барди доцільно використовувати кислотостійку α -амілазу (0,25 од. АЗ/г крохмалю) на стадії приготування замісу та ферментні препарати протеолітичної (0,035 ПЗ/г сировини) і ксилолітичної дії (4,0 КЗ/г сировини) із постадійним їх введенням у зони максимальної активності, при цьому в'язкість розрідженого сусла не перевищує 2,3 Па•с, що дозволяє використовувати відцентрові насоси.

Синтез дріжджових клітин з підвищенням коефіцієнта рекуперації фільтрата барди від 0,2 до 0,6 підвищується в 1,05...1,35 раза і практично не залежить від кількості циклів. У той же час концентрація мертвих клітин із збільшенням циклів поступово зростає і на 6 циклі досягає 10...15%.

Література

1. *Кайшев А.Ш.* Послеспиртовая зерновая барда — перспективный источник биологически активных веществ / Кайшев А.Ш., Кайшева Н.Ш., Челомбитко В.А., Василеико Ю.К. // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2011. — № 2. — С. 30.
2. *Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т.* Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. — К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с.
3. *Дослідження з використання фільтрату барди для приготування замісу в технології зернового спирту / В.М. Ісаєнко, В.О. Маринченко, В.Ф. Семенко та ін.* // Харчова промисловість. — 2001. — № 1 (46). — С. 104—106.
4. *Шиян П.Л.* Використання фільтрату барди при приготуванні зернових замісів / Шиян П.Л., Сосницький В.В., Мудрак Т.О., Боярчук Я.А. // Харчова і переробна промисловість. — 2015. — № 4. — С. 12—17.
5. *Патент № 7245 Україна МПК С П № 15/00.* Осмофільний штам дріжджів *Saccharomycetes cerevisiae* ДО — 11 для мікробіологічного синтезу етилового спирту з крохмалевмісної сировини / Іванов С.В., Шиян П.Л., Мудрак Т.О., Олійнічук С.Т. та ін.; № u 2011 14490; заявл. 07.12.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15.
6. *Інструкція по техно-хімічному і мікробіологічному контролю спиртового виробництва.* Под ред. А.П. Рухлядовой. — М.: Агропромиздат, 1986.
7. *Римарева Л.В.* Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей / Л.В. Римарева. — М.: ДеЛиПринт, 2010. — 251 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СПИРТОВОЙ БРАЖКИ

Я.А. Боярчук, П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, А.М. Куц

Национальный университет пищевых технологий

На сегодняшний день для спиртовой промышленности Украины первоочередной задачей является увеличение экспорта этанола в страны Евросоюза. В

условиях, когда предложение превышает спрос, особое внимание уделяется рентабельности производства. В связи с производством различных видов товарной продукции спиртовая отрасль должна обеспечить возможность моделирования качества спирта под условия заказчика. Те предприятия, которые смогут модернизировать производство под евростандарты, способны не только выжить, но и завоевать внешние рынки. Проведено исследование спиртового сбраживания крохмалсодержащего сырья с заменой технологической воды фильтратом барды на стадии приготовления замеса. Установлено, что использование фильтрата барды влияет на технологические показатели зрелой бражки. Определены оптимальное количество и кратность использования фильтрата барды на стадии приготовления замеса. Разработана технологическая схема постадийного гидролиза крохмалсодержащего сырья с рекуперацией тепла.

Ключевые слова: сбраживание, сусло, фильтрат барды, водорастворимые углеводы, нерастворимый крахмал, кратность использования фильтрата барды.