

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ
ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНОГО СУСЛА ІЗ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ
СИРОВИНИ**

МУДРАК Т.О.

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства

КУЦ А.М.

кандидат технічних наук, доцент,

завідувач кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства

КОВАЛЬЧУК С.С.

аспірант кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства

КИРИЛЕНКО Р.Г.

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства

Національний університет харчових технологій,

м. Київ, Україна

Аналіз ситуації на світовому ринку показує, що за існуючої технології ректифікований спирт українського виробництва не може бути конкурентноспроможним без підвищення його якості та рентабельності виробництва. В сучасних умовах ринкової економіки нагальним завданням спиртової промисловості є зниження собівартості товарної продукції за рахунок створення і впровадження інноваційних енерго- та ресурсозберігаючих технологій, що забезпечить збільшення обсягів виробництва етанолу з максимальною утилізацією крохмалевмісної сировини і відходів виробництва,

розробку новітніх способів інтенсифікації процесів дріжджегенерації та зброджування високонцентрованого сусла.

Одним із способів впровадження у виробництво спирту ресурсо- та енергозберігаючої технології спиртових бражок є отримання високонцентрованого сусла із крохмалевмісної сировини з подальшим зброджуванням його осмофільними, термотолерантними та кислоторезистентними дріжджами.

Метою досліджень було оптимізація технології зброджування високонцентрованого сусла, отриманого із найбільш застосованих на українських спиртових заводах видів зерна — кукурудзи, пшениці і жита, які суттєво відрізняються за фізико-хімічним складом, в тому числі і за вмістом крохмалю.

Методика досліджень. Для приготування замісу кукурудзу, пшеницю і жито з вмістом крохмалю відповідно 69,1; 63,4 і 51,3 % подрібнювали до отримання помелу із 100-м проходом через ситом з діаметром отвору 1 мм. Помел змішували з водою і здійснювали термоферментативну обробку за низькотемпературним режимом з використанням розріджуючих та оцурюючих ферментних препаратів. Для зброджування готували сусло з концентрацією для кукурудзи — 17; 20; 26; 28 і 30 %, жита — 17; 20; 21,8; 22,2 і 24 % , пшениці — 17; 19,8; 23,5; 25,2 і 27 %. **Зброджування сусла** проводили методом «бродильної проби» з **використанням дріжджів раси *Saccharomyces cerevisiae* ДО–16 за температури — 30-35 °С [1].**

Динаміку бродіння контролювали ваговим методом. Зерно, сусло, зрілу бражку та її дистиляти аналізували за загальноприйнятими в спиртовій промисловості методиками [1]. Якісний і кількісний склад летких домішок в бражних дистилятах визначали на газовому хроматографі Кристал 2000М.

Результати та їх обговорення. В першій серії дослідів досліджували максимально можливу концентрацію сусла із різних видів зерна, за якою забезпечувався нормативний вихід спирту.

В табл. 1 наведені результати досліджень зброджування сусла різної концентрації із кукурудзи. Із наведених даних видно, що при зброджуванні сусла концентрацією 17, 20 і 26 % сухих речовин основні показники зрілих бражок були на рівні регламентованих. З підвищенням концентрації сусла до 28 і 30 % ступінь зброджування продуктів гідролізу крохмалю зменшувалась. Так, вміст незброджених вуглеводів зріс від 0,449 до 0,0590-0,780 г/100 см³, а нерозчиненого крохмалю – з 0,10 до 0,12 г/100 см³. Із збільшенням концентрації сусла зростав вміст спирту в зрілих бражках, але за концентрації 30 % його вихід був нижчим на 0,2 дал із 1 т умовного крохмалю.

Таблиця 1. Хіміко-технологічні показники зрілої бражки із кукурудзяного сусла

Конц ентрація сусл а, % СР	Сума СО ₂ , г/200 см ³	рН	Вміст, г/100 см ³		Концент рація спирту, % об.	Вміст дріжджі в, млн. кл./см ³	Частка мертвих клітин, %	Вихід спирту із 1 т умовно го крохмалю, дал
			незбро джених вуглев одів	нерозчи неного крохмал ю				
17	17,75	4,8	0,120	0,08	8,90	175	2,8	66,60
20	18,95	4,95	0,229	0,09	10,65	224	9,6	66,61
26	20,36	4,95	0,449	0,10	13,45	298	18,4	66,60
28	21,75	5,0	0,590	0,12	14,91	313	19,4	66,59
30	22,96	4,98	0,780	0,12	15,65	320	20,8	66,40

При переробці пшениці та жита для сусла підвищених концентрацій виникає ряд технологічних труднощів, що обумовлені особливостями їх фізико-хімічного складу. Під час термоферментативної обробки спостерігалось значне

збільшення в'язкості отриманих замісів, що суттєво впливало на протікання гідролітичних процесів при отриманні сусла. В табл. 2 і 3 наведені показники зрілих бражок, отриманих внаслідок зброджування сусла із пшениці і жита.

Як видно з даних табл. 1-3, за однакової концентрації сусла при зброджуванні кукурудзи завжди у бражці знаходилась більша кількість спирту порівняно із бражками, отриманими внаслідок зброджування пшениці і жита. Це обумовлено більш високим вмістом крохмалю в кукурудзі і відповідно в суслі.

Таблиця 2. Хіміко-технологічні показники зрілої бражки із пшеничного сусла

Концентрація сусл а, % СР	Сума CO ₂ , г/200 см ³	рН	Вміст, г/100 см ³		Концент рація спирту, % об.	Вміст дріжджі в, млн. кл./см ³	Частка мертвих клітин, %	Вихід спирту із 1 т умовно го крохмалю, дал
			незбро джених вуглев одів	нерозчи неного крохмал ю				
17,0	13,25	4,30	0,210	0,07	8,60	185	2,5	66,60
19,8	15,38	4,27	0,300	0,07	10,03	296	3,4	66,58
23,5	18,75	4,38	0,313	0,09	11,98	271	10,0	66,50
25,2	19,90	4,46	0,429	0,10	12,95	258	22,0	66,49
27,0	20,33	4,51	0,673	0,28	14,10	313	20,4	66,40

За умови забезпечення нормативного виходу спирту із 1 т умовного крохмалю максимальний вміст спирту в бражці із кукурудзи становив 14,91 % об., тоді як із пшениці — 4,1, а із жита — 13,0. Таким чином, кукурудза є

кращою сировиною із зернових культур для виробництва спирту, оскільки в ній міститься відносно більша кількість крохмалю, менше клітковини, а за рахунок підвищеного вмісту жиру збільшуються кормові властивості барди. Особливо це важливо при виробництві спирту етилового ректифікованого в умовах комплексної переробки крохмалевмісної сировини коли барду висушують з подальшим застосуванням для виробництва комбікормів, а жир попередньо видаляють для отримання олії.

Підвищення температури зброджування та осмотичного тиску середовища внаслідок високих концентрацій сусла створює екстремальні умови для життєдіяльності дріжджів, завдяки чому знижується їх бродильна та генеративна активності. Це в свою чергу може спричинити нестабільність в роботі бродильного відділення. Одним із перспективних напрямів наукових досліджень підтримання стабільності процесів метаболізму дріжджів та підвищення їх біосинтетичної активності є пошук шляхів покращення мінерального складу сусла шляхом застосування різних джерел мінерального живлення [2-4].

Таблиця 3. Хіміко-технологічні показники зрілої бражки із житнього сусла

Конц ентрація сусл а, % СР	Сума CO ₂ , г/200 см ³	рН	Вміст, г/100 см ³		Концент рація спирту, % об.	Вміст дріжджі в, млн. кл./см ³	Частка мертвих клітин, %	Вихід спирту із 1 т умовно го крохмалю, дал
			незбро джених вуглев одів	нерозчи неного крохмалю				
17,0	12,98	4,50	0,300	0,10	8,30	200	9,3	65,60
20,0	15,19	4,55	0,567	0,10	9,85	299	11,7	65,50

21,8	18,59	4,65	0,602	0,14	11,56	233	13,3	65,50
22,2	21,52	4,63	0,977	0,24	12,50	229	25,0	65,45
24,0	22,15	4,64	1,270	0,27	13,00	218	30,0	65,10

На наступному етапі роботи проводили сусло зброджували із дріжджами, які культивували на субстратах із додаванням різних цитратів металів. Для культивування дріжджів і збродження використовували сусло із кукурудзи концентрацією 28 %. На стадії дріжджегенерування застосовували цитрати цинку, магнію, марганцю, міді, заліза, молібдену при кількості 70 мкг/дм³. Засівні дріжджі вносили в кількості 15 млн кл./см³ при дріжджегенеруванні та 20 млн кл./см³ при збродженні.

Як показали результати досліджень (табл. 4), в зразках із додаванням цитратів металів під час культивування дріжджів хіміко-технологічні показники бражки були кращими в порівнянні з контролем.

Таблиця 4. Хіміко-технологічні показники зрілої бражки залежно від якісного складу цитратів металів внесених на стадії дріжджегенерування

Цитрат металу	Сума CO ₂ , г/200 см ³	рН	Вміст незброджених вуглеводів, г/100 см ³					Концентрація спирту, % об.	Вміст дріжджів, млн кл./см ³
			загальних	розчинних	нерозчинних крохмалю	декстринів	спиртозчинних		
Fe ²⁺	26,02	4,00	0,41	0,34	0,06	0,22	0,090	13,90	220
Mn ²⁺	26,01	3,90	0,40	0,33	0,06	0,22	0,080	13,90	225
Mg ²⁺	28,02	3,89	0,34	0,29	0,04	0,25	0,009	14,00	228
Cu ⁺	26,40	4,00	0,42	0,32	0,11	0,18	0,08	13,85	218

Zn ²⁺	28,40	3,87	0,33	0,25	0,07	0,21	0,007	14,10	218
Mo ⁶⁺	26,05	3,99	0,39	0,30	0,08	0,22	0,050	13,90	216
Контроль	25,50	4,00	0,45	0,34	0,09	0,25	0,056	13,80	217

Так, найбільший вміст спирт був зафіксований в бражках, отриманих із застосуванням цитратів цинку та магнію (14,0-14,1 % об.), що обумовлено повнішим зброджуванням вуглеводів сусла. Так, вміст незброжених вуглеводів у дослідних зразках був у 1,07-1,27 рази меншим, ніж у контрольних. Така ж закономірність була і для інших складових незброжених вуглеводів.

За даними хроматографічного аналізу встановлено, що якісний склад летких домішок в бражних дистилятах був ідентичним, але за кількісними показниками коливався в широких межах. Особливо це стосувалось вмісту естерів та вищих спиртів.

Висновки. Кукурудза є кращою сировиною із зернових культур для виробництва спирту за рахунок більш високого вмісту крохмалю і жиру та меншої концентрації клітковини, що особливо важливо при комплексної переробці крохмалевмісної сировини. За однакової концентрації сусла при переробці кукурудзи отримують підвищений спиртоз'єм із 1 м³ дріжджобродильної апаратури, що приводить до зростання продуктивності бродильного відділення.

Доведено, що використання цитратів металів, особливо магнію і цинку, сприяє інтенсифікації процесів дріжджегенерування і бродіння та сприяє процесу зброджуванню вуглеводів сусла із підвищеним накопиченням спирту у зрілій бражці.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.

1. Полигалина Г. В. Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. М. Колос. 1999. 334 с.

2. Shiyani P., Mudrak T., Kyrylenko R., Kovalchuk S. Effect of nitrogen and mineral composition of the high-concentrated wort made from starch-containing raw materials on the cultivation of yeast // Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. № 11. P. 72-77.

3. Kovalchuk S., Shiyani P., Mudrak T., Kuts A., Kyrylenko R. Investigation of the influence of nanoparticles of metals on fermentation of wort of high concentrations // Eureka: Life Sciences. 2017. № 6. P. 51–56

4. Tetsuyoshi, S, Hiroko, T, Akitsugu, K, Kousaku, M, Satoshi, I. On the importance of calcium and magnesium ions in yeast sporulation. Journal of Fermentation and Bioengineering. (77). 1994. P. 274-276.