



UDC 663.533

THE IMPACT OF ENZYME PREPARATIONS AND GROWTH ACTIVATORS ON YEAST IN THE TECHNOLOGY OF ALCOHOL FERMENTATION

Vitalii L. Prybylskyi¹, Anatoly M. Kuts¹, Iaroslav A. Boiarchuk^{2*}, Olha S. Dulka¹¹National University of Food Technologies, 168 Volodymyrska str., Kyiv, 01601²LLC "LVN LIMITED", Ukrainian Street, 14, Nemirov, Vinnytsia region, 22800

Received 2 March 2024; accepted 17 June 2024; available online 10 July 2024

Abstract

The article provides a characterization of enzyme preparations and growth activators used in the technologies of the alcohol industry. It is noted that industry losses are associated with market loss, shadow schemes, low implementation of innovative technologies, etc. With the privatization of the industry, entrepreneurs face tasks related to reducing material and energy losses. The influence of corn embryo containing substances that hinder starch hydrolysis and further fermentation into ethyl alcohol and the yield of the finished product has been investigated. The expediency of removing the corn embryo from the original grain in the technology of ethanol production. The potential of using high-concentration mash with enzyme preparations and dry yeast for fermentative hydrolysis with fermentation of mash of different concentrations is proven. The possibility of using dry yeast with a dry matter content in the mash of 24...28 % at a temperature of 30...35 °C is established. The effectiveness of alcohol and feed production using stillage is determined. The results of studies on the use of yeast growth stimulators at high concentrations of dry matter in mash are presented. The influence of enzyme preparations, dry alcohol yeast, and growth activators using corn as a raw material on technological indicators is determined. It is proven that the use of the proposed enzyme preparations with various yeast strains and growth activators increases profitability and alcohol yield, ensuring effective fermentation of high-concentration mash.

Keywords: enzyme preparations; corn; mash; dry matter; yeast; growth stimulators; fermentation; fermentation mash.

ВПЛИВ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА АКТИВАТОРІВ РОСТУ ДРІЖДЖІВ У ТЕХНОЛОГІЇ СПИРТОВОЇ БРАЖКИ

Віталій Л. Прибильський¹, Анатолій М. Куц¹, Ярослав А. Боярчук², Ольга С. Дулька¹¹Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601²ТОВ «ЛВН ЛІМІТЕД», вул. Українська, 14, м. Немирів, Вінницька обл., 22800

Анотація

У статті наведено характеристику ферментних препаратів та активаторів росту дріжджів, що використовуються у технологіях спиртової галузі харчової промисловості. Визначено, що збитки галузі пов'язані із втратою ринків реалізації готової продукції, тіньовими схемами, низьким рівнем впровадження інноваційних технологій та ін. Визначено, що з початком приватизації галузі перед підприємцями постають завдання, які пов'язані із зниженням втрат матеріальних ресурсів та енергетичних витрат. Досліджено вплив зародку кукурудзи, що містить речовини, які перешкоджають гідролізу крохмалю та подальшій ферментації у етиловий спирт та на вихід готової продукції. Обґрунтовано доцільність видалення зародку кукурудзи із вихідного зерна у технології етилового спирту. Доведено перспективність використання суслу підвищеної концентрації із використанням ферментних препаратів та сухих дріжджів для ферментативного гідролізу із зброджуванням суслу різних концентрацій. Встановлено можливість використання сухих дріжджів із вмістом сухих речовин у суслі 24...28 % за температури 30...35 °C. Визначено ефективність виробництва спирту та кормових продуктів із використанням барди. Наведено результати досліджень використання стимуляторів росту дріжджів за високої концентрації сухих речовин суслу. Визначено вплив ферментних препаратів, сухих спиртових дріжджів та активаторів росту із використанням як сировини кукурудзи на технологічні показники. Доведено, що використання запропонованих ферментних препаратів із використанням різних рас дріжджів та активаторів їх росту підвищує рентабельність та вихід спирту, забезпечує ефективне зброджування суслу високих концентрацій.

Ключові слова: ферментні препарати; кукурудза; сусло; сухі речовини; дріжджі; стимулятори росту; бродіння; зріла бражка.

*Corresponding author: e-mail: iaroslav.boiarchuk@nemiroff.pro

© 2024 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v32i2.299359

Вступ

Україна є однією з держав, які забезпечують продовольчий ринок світу. Врожаї злакових культур значно перевищують власні потреби. Одним із напрямів використання зернових культур є їх перероблення у етиловий спирт.

Виробництво етилового спирту із крохмалевмісної сировини є доцільним як для харчового, так і технічного спирту. Відомо, що харчова, хімічна, біохімічна, целюлозно-паперова та інші галузі промисловості потребують значної його кількості [1].

За походженням, фізико-хімічним складом та призначенням етиловий спирт поділяють на технічний та харчовий. Етиловий спирт отримують з крохмалевмісної рослинної сировини (жито, пшениця, кукурудза, ячмінь, овес, просо тощо) шляхом зброджування сусла та перегонки і ректифікації бражки.

Технічний спирт виготовляють переважно із целюлози деревини або нафтопродуктів, які піддають кислотному гідролізу або синтезують. В Україні технічний спирт виготовляють також із зернових культур та цукрового буряку. Їх технології передбачають отримання спирту із значним вмістом побічних та вторинних продуктів бродіння. Технічний спирт широко застосовують в хімічній промисловості, радіотехнічній, електронній, у виробництві лаків, фарб, товарів побутової хімії, аерозолів, виробів зі скла та кахлю, парфумерії, пластику та ін. На сьогодні актуальним є використання технічного спирту як біопалива чи високооктанової добавки до бензину. Заміна до 10 % бензину на етиловий спирт в Україні може значно збільшити потужність спиртових підприємств [1].

Харчовий спирт є основною сировиною у виробництві горілок, лікєро-горілчанних виробів та використовується як допоміжна сировина у виробництві інших виробів.

Розрізняють сорти харчового етилового спирту: «Пшенична сльоза», «Люкс», «Екстра», «Вища очистка».

Спирт «Пшенична сльоза» за вмістом домішок є продуктом, який містить найменшу кількість домішок. Для виготовлення спирту цього сорту використовують лише тверді сорти пшениці найвищої якості. Його технологія забороняє використання картоплі, кукурудзи, меляси тощо. Такий спирт відрізняється особливою м'якістю, є непекучим, має чистий аромат.

Етиловий спирт «Люкс» має значний попит в Україні. Він використовується для виробництва горілок та горілок особливих, має доступну ціну. За рівнем чистоти спирт «Люкс» має нижчі вимоги у порівнянні зі спиртом сорту «Пшенична сльоза». Основна сировина, з якої виготовляють спирт «Люкс», є кукурудза. Цей спирт має приємний аромат, м'який смак і містить незначну кількість домішок, зокрема сивушних масел, які є важливою характеристикою харчового спирту.

Спирт «Екстра» може виготовлятися з картоплі та інших злакових культур. Допустимий вміст домішок у ньому дещо нижчий у порівнянні із сортом «Люкс».

Спирт «Вищої очистки» застосовується для виготовлення горілки для споживачів економкласу. Він містить більшу кількість легких побічних і вторинних продуктів бродіння. Етиловий спирт вищої очистки виготовляють з різних видів сировини (цукрові буряки, картопля, меляса та ін.). Цей спирт відзначається характерним ароматом і смаком [22].

Важливим у виробництві харчового та технічного етилового спирту є забезпечення ефективності технології сусла та його зброджування. Необхідним є забезпечення оптимальних умов дії ферментів для гідролізу полімерів зерна, визначення оптимальної температури зброджування сусла з різних зернових культур.

Тому актуальним є розроблення та впровадження інноваційних технологій харчового та технічного спирту із використанням ефективних ферментних препаратів та дріжджів, спрямованих на збільшення виробничих потужностей спиртових заводів, забезпечення комплексної переробки сировини, зниження витрат та втрат сировинних і енергетичних ресурсів, підвищення якості та конкурентоздатності продукції, зниження техногенної дії на довкілля [2].

Літературний огляд. Потужність спиртових заводів України складає біля 70 млн дал ректифікованого спирту у рік. Водночас значна кількість підприємств працює з низьким завантаженням чи простоє. Їх потужності можна спрямувати на виробництво паливного етанолу (біоетанол), але цей процес повинен бути рентабельним. Собівартість біоетанолу залежить як від

податкової політики держави, так і від особливостей технологій.

Концепція організації виробництва біоетанолу в Україні передбачає декілька напрямів. На 2022 рік потужність виробництва біоетанолу складала 381 тис. т на рік [24]. На сьогодні більшість існуючих спиртових заводів дозволяє підвищити їх продуктивність.

Досвід останніх десятиліть показує, що більшу частину виробленого етилового спирту в світі використовують на технічні цілі [26].

Особливе місце в розвитку спиртової галузі України посідає впровадження інноваційних технологій технічного етилового спирту, зокрема біоетанолу, із використанням високоефективного обладнання. Впровадження енерго- та ресурсозберігаючих інноваційних технологій біоетанолу із сільськогосподарської сировини і відходів харчової промисловості (дефектне зерно, буряк, м'яса, виноградні вижимки, топінамбур, сорго, топіока) дозволяє раціонально використовувати потужності спиртових заводів України залежно від кон'юнктури внутрішнього та зовнішнього ринків.

Зростаючу роль біопалива в енергетичному балансі України зумовило прийняття Закону України «Про альтернативні види рідкого та газового палива», який визначив правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва і споживання альтернативних видів рідкого та газового палива, зокрема біоетанолу [1; 2].

Біоетанол є одним з визначальних альтернативних видів палива, який є інноваційною продукцією у спиртовій галузі. Однак для його виробництва необхідне додаткове обладнання та проведення відповідних наукових досліджень [1; 2].

Виробництво харчового та технічного етилового спиртів передбачає гідроліз складових зерна для збродження вуглеводів та інших поживних речовин. Для цього використовують ферментні препарати. Ринок їх виробників досить різноманітний [12] і представлений переважно компаніями DuPont Industrial Biosciences, Novozymes AS, Tegaferm Holding GmbH та Suntaq International Limited.

Компанія DuPont Industrial Biosciences (Данія, торговельна марка DANISCO) є однією з найбільш поширених на ринку ферментних препаратів. Її представником в Україні є ТОВ

«ТРИСТАН». DuPont Industrial Biosciences входить до глобальної науково-орієнтованої компанії DuPont і орієнтується на обслуговування технологій харчових продуктів та сільського господарства.

Компанія Novozymes AS є постачальником ферментних препаратів та сухих культур мікроорганізмів. Фірма спеціалізується також на ферментних препаратах для миючих засобів та виробництва комбікормів. Культури мікроорганізмів використовуються як у харчовій промисловості, так і в сільському господарстві та очищенні стічних вод.

Компанія Tegaferm Holding GmbH спеціалізується на постачанні ферментних препаратів для виробництва етилового спирту, пива, хлібопекарських виробів, а також у технологіях інших харчових продуктів та технічних застосувань. Представником цієї компанії в Україні є ТОВ «Біотест».

Компанія Suntaq International Limited (Китай) спеціалізується на виробництві та продажі промислових, кормових і харчових ферментних препаратів. Фірма має зв'язки з вітчизняними та міжнародними науковими закладами. Представником компанії в Україні є ПП «Коурос».

Вітчизняним виробником ферментних препаратів є ДП «Ензим». Підприємство спеціалізується на виробництві ферментних препаратів для харчової промисловості та біодобавок для синтетичних миючих засобів.

У виробників як харчового, так і технічного спиртів актуальним є питання видалення зародку кукурудзи (герми) у приготуванні суслу. Герма містить олії та речовини, які можуть негативно впливати на процес ферментації та якість спирту. Основні способи її видалення, які можуть застосовуватися в спиртовому виробництві, передбачають теплову обробку або хімічну, механічну, гідротермічну та ультразвукову дежермінацію. Вибір способу видалення зародку залежить від особливостей технології, використаного зерна, доступних ресурсів та інших факторів.

Напрями технологій спиртової бражки потребують підвищення концентрації сухих речовин суслу, збродження за підвищених температур із отриманням вмісту спирту у зрілій бражці 13...15 %, що забезпечує зменшення собівартості спирту, економію витрат сировини та енергетичних ресурсів. Тому важливим у технології етилового спирту є використання високопродуктивних

рас дріжджів з підвищеною осмофільністю, термотолерантністю та бродильною активністю. Підбір фізіологічно активних спиртових дріжджів, технологічно стійких до несприятливих факторів, які мають підвищену продуктивність, осмофільність та термотолерантність, дозволяє підвищити продуктивність спиртового виробництва [26]. На підприємствах України можуть використовуватись нові штами дріжджів У-5010 селекції УкрНДІспиртбіопрод, *S. cerevisiae* ДТ-05 селекції НВ ТОВ «Інтермаш» та *S. cerevisiae* ДО-11 селекції НУХТ. Дріжджі штамів ДТ-05 та ДО-11 є термотолерантними і у випадку підвищення температури зароджуваного сусла до 34–36 °С зберігають високу бродильну активність. Ці штами мають перевагу над расою XII за швидкістю зброджування, втратами вуглеводів та біосинтезом спирту. Вони мають також високу осмофільність за концентрацій сухих речовин сусла до 30 % [26]. Однак на сьогодні ці дріжджі не виробляються у сухому вигляді, що стримує їх широке впровадження на спиртових підприємствах.

Використання сухих дріжджів потребує особливих умов культивування. Цей продукт поставляється на підприємства у порошкоподібному стані з вологістю 6...9 %. Активування життєдіяльності забезпечували витримкою в оптимальних умовах протягом 4-х годин.

Відомо, що для дріжджів застосовують азотне та фосфорне живлення. У дослідженнях використовували різні стимулятори росту.

Ринок сухих спиртових дріжджів представлений багатьма виробниками. Сухі дріжджі зручні у використанні в промислових умовах і не потребують значних технологічних витрат. На ринку України в основному представлені сухі дріжджі закордонного виробництва. Такі дріжджі мають різні напрямки для використання, наприклад, для харчових напоїв дріжджі повинні продукувати незначну кількість побічних продуктів, а для біоетанолу – витримувати високі концентрації етанолу в бражці та здатність зброджувати сусло за підвищених температур.

Дослідженнями Мудрак Т.О доведено, що використання стимуляторів росту, зокрема цитратів металів, як біологічно активних речовин для дріжджових клітин, може дозволити інтенсифікувати процес

зброджування сусла та збільшити концентрацію етанолу в бражці на 1.5...2.0 % [20].

Таким чином, актуальним напрямом досліджень є використання ферментних препаратів та активаторів росту дріжджів у технологіях спиртової бражки з використанням різної сировини, зокрема кукурудзи.

Мета дослідження – дослідження використання комплексних ферментних препаратів та сухих спиртових дріжджів різних виробників, ефективності видалення зародку кукурудзи та впливу додаткового живлення на стадії ферментації сусла у технології етилового спирту.

Завданнями досліджень є визначення впливу амілолітичних ферментних препаратів, сухих дріжджів та активаторів їх росту на показники зрілої бражки із використанням кукурудзи різних кондицій.

Матеріали і методи досліджень

У дослідженнях використовували кукурудзу згідно з ДСТУ 4525:2006, ферментні препарати та сухі дріжджі ТОВ «А-PROFI», ДП «Ензим», ТОВ «Біотест», ТОВ «Новоконтакт», ТОВ «Трістан», ПП «Коурос», активатори росту дріжджів НВП «Біотенол». Крохмалистість вихідного зерна визначали за методом Еверса [23], вологість – за методом висушування до постійної маси [23], гранулометричний склад помелу – методом розсіву на ситах [23], концентрацію сухих речовин сусла та зрілої бражки – за допомогою цукроміра та рефрактометра [23]. Фізіологічний стан дріжджових клітин визначали за забарвленням розчином Люголя. Кількість клітин дріжджів визначали із використанням камери Горяєва [23]. Підготовку сухих дріжджів проводили відповідно з рекомендаціями фірм-виробників. У лабораторних умовах сусло зброджували за методом «бродильної проби» в конічних колбах з сірчаноокислотними затворами. Динаміку виділення карбон (IV) оксиду контролювали ваговим методом [23]. У зрілій бражці визначали рН електрометричним методом, вміст етанолу в зрілій бражці – пікнометричним методом, водо- та спирторозчинні вуглеводи, нерозчинний крохмаль і декстрини – фотоелектроколориметричним методом з антроновим реактивом [23].

Видалення зародків кукурудзи проводили в компанії ТОВ «ОЛІС». На рисунку 1 зображено зерна кукурудзи без зародку.



Fig. 1. Corn kernels without germ
Рис. 1. Зерна кукурудзи без зародку

У дослідженнях використовували помел зерна кукурудзи з крохмалистістю 1.1...66.99 % та дисперсністю помелу не більше 1 мм із зародком та після його видалення. Розріджену масу готували із використанням ферментних препаратів із α -амілазною активністю. Розріджену масу оцукрювали ферментними препаратами, які містять глюкоамілазу.

Сусло готували за технологічною схемою низькотемпературної гідроферментативної обробки сировини за температури 88...92 °C протягом 2.5...3.5 годин. Розріджену масу охолоджували до температури 32 °C і вносили оцукрюючий ферментний препарат згідно з рекомендаціями виробника. У сусло вносили виробничу культуру дріжджів та, залежно від умов, активатор росту. Сусло зброджували за температури 30...35 °C.

Робочі розчини активаторів росту дріжджів готував к.с.-г.н. Михайло Черниш.

Результати та їхнє обговорення

Зріла бражка як напівпродукт спиртового виробництва повинна відповідати нормативним показникам. Визначальними факторами є комплексні ферментні препарати, що містять розріджуючі та оцукрюючі ферменти, які діють на крохмаль замісу та розрідженої маси.

У таблиці 1 наведено показники зрілої бражки за використання ферментних препаратів і сухих дріжджів різних виробників. У дослідженнях використовували кукурудзу крохмалистістю 62.1 %. Розрідження проводили за температури 90 °C протягом 3 год.

Table 1

The effect of enzyme preparations and yeast from different manufacturers on the indicators of mature mash

Таблиця 1

Вплив ферментних препаратів та дріжджів різних виробників на показники зрілої бражки

№ зразка*	Назва виробника ферментного препарату	Вміст сухих речовин у суслі, %	Вміст водорозчинних вуглеводів, г/100 см ³	Вміст спирторозчинних вуглеводів, г/100 см ³	Нерозчинний крохмаль, г/100 см ³	Декстрини, г/100 см ³	Вміст спирту у зрілій бражці, %об.	Вміст життєздатних клітин, млн/см ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ТОВ «А-PROFI»	24	0.247	0.149	0.107	0.088	11.39	186
2		26	0.426	0.211	0.091	0.194	12.60	178
3		28	0.569	0.212	0.159	0.321	13.44	166
4		24	0.256	0.108	0.064	0.133	11.74	136
5		26	0.303	0.175	0.048	0.115	12.72	125
6		28	0.627	0.358	0.167	0.242	12.78	116
7	ДП «ЕНЗИМ»	24	0.289	0.223	0.031	0.059	11.36	102
8		26	0.471	0.313	0.024	0.142	11.92	90

		Продовження табл. 1						
9		28	1.041	0.730	0.197	0.280	12.40	76
10		24	0.283	0.062	0.107	0.199	1165	202
11		26	0.459	0.152	0.171	0.276	12.08	194
12	ТОВ «ТРИСТАН»	28	0.615	0.201	0.32	0.373	12.96	187
13		24	0.298	0.234	0.085	0.058	11.97	198
14		26	0.388	0.219	0.167	0.152	12.27	184
15		28	0.903	0.712	0.284	0.172	12.83	167
16		24	0.232	0.031	0.090	0.181	11.74	244
17	ТОВ «БІОТЕСТ»	26	0.362	0.153	0.071	0.188	13.05	225
18		28	0.408	0.217	0.134	0.172	14.34	210
19		24	0.228	0.225	0.061	0.003	11.88	153
20	ПП «КОУРОС»	26	0.389	0.264	0.095	0.113	12.73	113
21		28	0.684	0.300	0.124	0.346	13.89	102
22	ТОВ «Новокон- такт»	24	0.257	0.207	0.104	0.045	11.55	121
23		26	0.403	0.384	0.029	0.017	12.64	104
24		28	0.712	0.458	0.034	0.229	12.99	98

* Зразки за використання ферментних препаратів та сухих дріжджів:

ТОВ «А-PROFI» (зразки 1-3) – α -амілаза APRO ZYME AA-85, глюкоамілаза APRO ZYME AG-5, сухі спиртові дріжджі APRO FERM THERMOSTA B;

ТОВ «А-PROFI» (зразки 4-6) – α -амілаза APRO ZYME AA-85, глюкоамілаза APRO ZYME AG-5, сухі спиртові дріжджі APRO FERM SP 1;

ДП «ЕНЗИМ» (зразки 7-9) – α -амілаза АЛЬФАЛАД БТ Л, глюкоамілаза AG, сухі спиртові дріжджі «Ензим»;

ТОВ «ТРИСТАН» (зразки 10-12) – α -амілаза Амилекс 5Т, глюкоамілаза Діазим TGA, сухі спиртові дріжджі QuickfermSuper;

ТОВ «ТРИСТАН» (зразки 13-15) – α -амілаза Амилекс 5Т, глюкоамілаза Діазим TGA, сухі спиртові дріжджі Fermiol;

ТОВ «БІОТЕСТ» (зразки 16-18) – β -амілаза TEGAMYL BLHL, глюкоамілаза TEGAMYL AG90L, сухі спиртові дріжджі TEGA-YEAST-T;

ПП «КОУРОС» (зразки 19-21) – α -амілаза LiquaStar, глюкоамілаза Fermentase L, сухі спиртові дріжджі Safspirit HG-1;

ТОВ «НОВОКОНТАКТ» (зразки 22-24) – α -амілаза LpNega, глюкоамілаза SaczymePlus 2X, сухі спиртові дріжджі Thermosacc DRY.

Встановлено, що показники зрілої бражки за концентрації початкового суслу 24 % для всіх зразків відповідали нормативним вимогам. Враховуючи, що визначальним є накопичення етанолу, слід вважати, що найбільш прийнятними були показники у зразків ПП «КОУРОС», а найменш – ДП «ЕНЗИМ», де вміст етилового спирту був на 4.6 % нижчим.

Із підвищенням вмісту сухих речовин до 26 % спостерігали таку кількість утвореного етанолу (% об.): ТОВ «Біотест» – 13.05; ПП «КОУРОС» – 12.73; ТОВ «А-PROFI» із сухими дріжджами APRO FERM SP 1 – 12.72; ТОВ «Новоконтакт» – 12.64; ТОВ «Тристан» – 12.27 та 12.08; ДП «Ензим» – 11.92. Таким чином, різниця у вмісті етилового спирту із використанням ферментних препаратів та сухих дріжджів між ТОВ «Біотест» та ДП «Ензим» становила 9.5 %.

За вмістом нерозчинного крохмалю зразки ТОВ «А-PROFI», ТОВ «Біотест», ПП «КОУРОС», ТОВ «Новоконтакт» відповідали нормативним вимогам. Для решти компаній необхідним є збільшення дозування препаратів, що містять α -амілазу, не менш як на 25 %.

Із підвищенням концентрації суслу до 28 % показники зрілої бражки у більшості зразків

не відповідали регламентним вимогам. Однак у зразка 18 (ТОВ «Біотест») понаднормативним був лише вміст нерозчинного крохмалю (1.34 рази), що можна відкоригувати збільшенням дози відповідного ферментного препарату на стадії приготування замісу. За іншими показниками цей зразок відповідав нормативним вимогам і мав найбільший вміст етилового спирту.

Слід відмітити, що найнижчий вміст нерозчинного крохмалю спостерігали у зразках ТОВ «Новоконтакт». Значення інших показників були меншими, що свідчить про високу активність ферментних препаратів за низької бродильної активності дріжджів.

Щодо інших компаній, крім необхідності вирішення питань із якістю виробничих дріжджів, необхідним є покращення ефективності гідролізу крохмалю шляхом збільшення дозування ферментних препаратів.

Аналізом вмісту дріжджових клітин у дослідних зразках встановлено, що найбільшу їх концентрацію отримано за використання дріжджів ТОВ «Біотест» та ТОВ «Тристан», а найнижчу від ДП «Ензим».

Враховуючи отримані результати у подальших дослідженнях, використовували

ферментні препарати та сухі дріжджі ТОВ «Біотест».

Наступним етапом досліджень було визначення впливу наявності зародку на показники зрілої бражки із використанням кукурудзи.

За існуючою інформацією зародок кукурудзи може сповільнювати процес бродіння, погіршувати показники зрілої

бражки та знижувати вихід спирту. Тому видалення зародку може сприяти інтенсифікації спиртового виробництва [4].

У таблиці 2 наведено показники зрілої бражки за використання зерна кукурудзи із зародком та після його механічного видалення. Зразки 1–3 були контролем (помел кукурудзи без видалення зародку), 4–6 та 7–9 – зразки за різних вихідних умов.

Table 2

The effect of germ on the indicators of mature corn mash

Таблиця 2

Вплив зародку на показники зрілої бражки із кукурудзи

№ зразка	Характеристика	Крохмалистість сировини, %	Вміст сухих речовин у суслі, %	Водорозчинні вуглеводи, г/100 см ³	Спирторозчинні вуглеводи, г/100 см ³	Нерозчинний крохмаль, г/100 см ³	Декстрини, г/100 см ³	Вміст спирту, %об.	Вміст життєздатних клітин, млн/см ³
1	без видалення зародку (контроль)	61.10	22.9	0.250	0.097	0.101	0.170	11.74	234
2			24.8	0.294	0.121	0.105	0.192	12.55	221
3			26.7	0.343	0.135	0.103	0.232	13.44	218
4	із видаленням зародком	66.99	20.2	0.196	0.048	0.01	0.164	11.00	245
5			21.9	0.212	0.065	0.091	0.164	11.86	238
6			23.7	0.244	0.084	0.103	0.178	12.75	220
7	із видаленням зародком	66.99	22.9	0.224	0.050	0.012	0.157	12.62	230
8			24.8	0.244	0.102	0.105	0.128	13.61	225
9			26.7	0.279	0.149	0.103	0.117	14.58	211

Встановлено, що всі зразки відповідали нормативним вимогам до зрілої бражки. У зразках 7–9 вміст спирту був на 0.88...1.4 об. % більший, а вміст водорозчинних вуглеводів в 1.12...1.23 рази менший у порівнянні із контролем. Однак, враховуючи меншу крохмалистість зерна, перевагу за вмістом спирту і водорозчинних вуглеводів, мали зразки 1–3. Видалення зародків призводило до зниження виходу спирту в середньому на 1 %, що можна пояснити позитивним впливом біологічно активних речовин зародку на життєдіяльність дріжджів і, відповідно, на процес спиртового бродіння. Крім цього, зародок містить певну кількість простих вуглеводів, які засвоюються дріжджами.

Тому, незважаючи на те, що видалення зародку дозволяє отримання побічних продуктів (крупа, кукурудзяна олія та ін.) з

точки зору збільшення виходу спирту видалення зародку є недоцільним.

Наступним етапом роботи було дослідження впливу активаторів росту дріжджів на показники зрілої бражки. Під час їх підбору враховували склад активаторів росту та крохмалистість. Активатори росту вносили у сусло з концентрацією сухих речовин 25 % у вигляді робочих розчинів на стадії дріжджегенерації. Тривалість дріжджегенерації становила 20 год. Виробничі дріжджі вносили в сусло в кількості 10 % від загального об'єму. Тривалість бродіння становила 72 год. Крохмалистість кукурудзи складала 62.1 %, а концентрація сухих речовин у суслі складала 25 %. Показники зрілої бражки наведено на рисунках 2 та 3. У дослідних зразках 2–4 використовували різні активатори росту НВП «Біотенол».

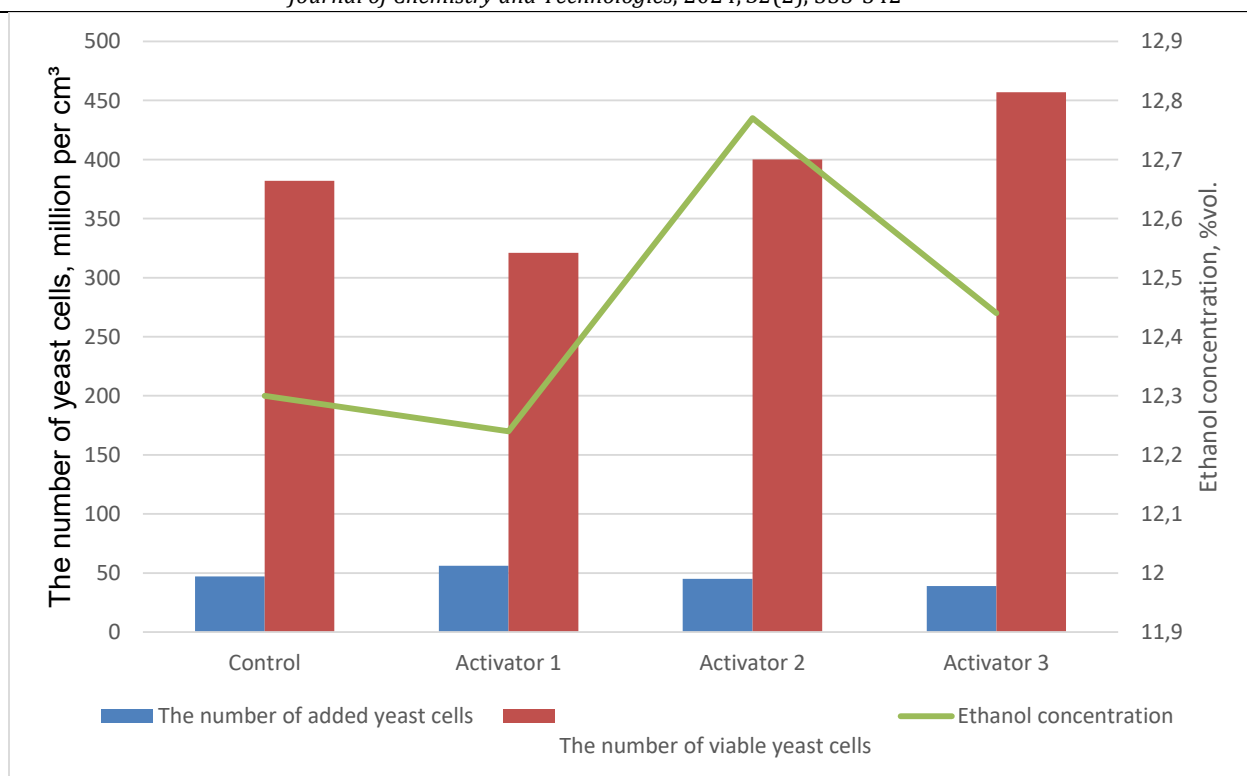


Fig. 2. The effect of growth activators on the number of yeast cells and ethanol synthesis
Рис. 2. Вплив активаторів росту на кількість дріжджових клітин та синтез етилового спирту

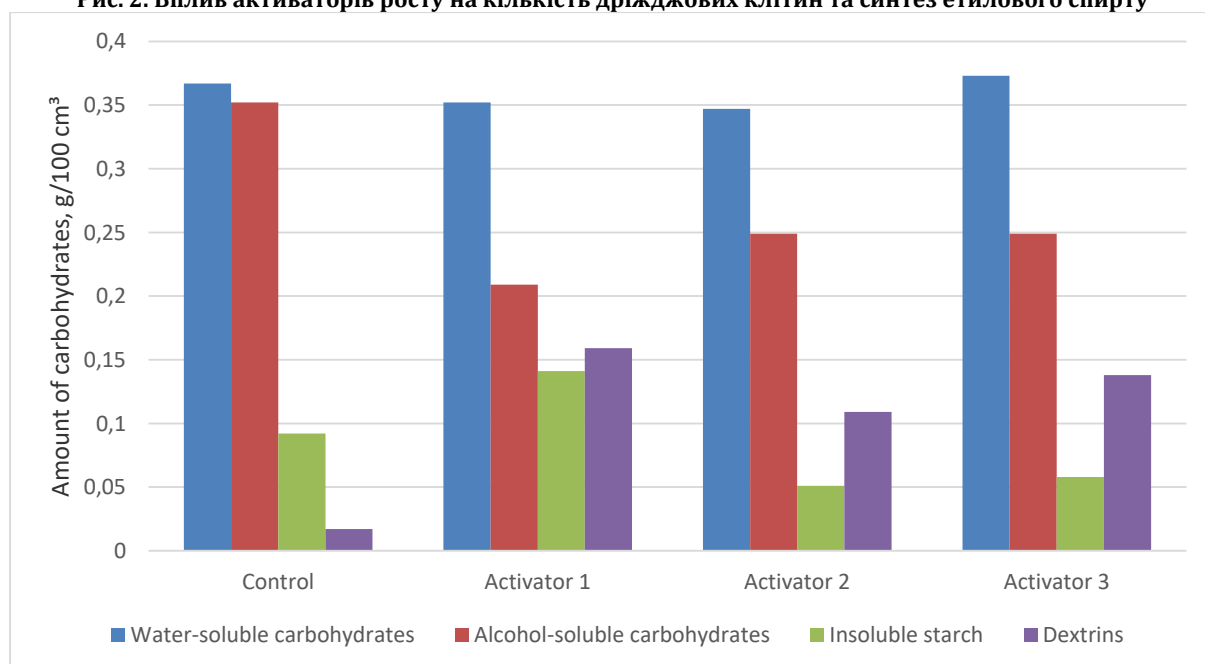


Fig. 3. The effect of growth activators on the carbohydrate content in mature mash
Рис. 3. Вплив активаторів росту на кількість вуглеводів у зрілій бражці

Встановлено, що зразки 1, 3 та 4 відповідали нормативним вимогам. Другий зразок мав підвищений вміст нерозчинного крохмалю (у 1.41 рази), що можна пояснити присутністю у активаторі 1 речовин, які інгібують фермент α -амілазу. В цьому зразку спостерігали також найменшу кількість утвореного спирту та життєздатних дріжджових клітин. Найвищу концентрацію дріжджів спостерігали за використання активатора 3 (зразок 4), однак

найбільший вміст спирту – за використання активатора 2 (зразок 3). Відсутність кореляції між високими значеннями вмісту спирту і кількістю дріжджових клітин пояснюється тим, що у зразку 4 значна кількість вуглеводів витрачалась на синтез біомаси у порівнянні з іншими активаторами.

Використання активатора 2 мало позитивний вплив на процес біоконверсії суслу. В цьому зразку не спостерігався

негативний вплив на фермент α -амілазу, і у порівнянні із контролем вміст нерозчинного крохмалю був 1.8 рази нижчий, що свідчить про позитивний вплив активатора на даний фермент. Низька кількість водо- та спирторозчинних вуглеводів свідчить про більшу активність дріжджових клітин і підтверджується збільшенням їх кількості в порівнянні з контролем у 1.4 рази водночас зі збільшенням кількості утвореного етанолу на 3.8 %. Тому даний активатор можна рекомендувати для підвищення ефективності процесу зброджування сусла.

Ефект від використання активатора 3 у порівнянні з активатором 2 з точки зору збільшення виходу спирту був дещо нижчий, але кращий, ніж за використання активатора 1. Він, ймовірно, мав позитивний вплив на фермент α -амілазу і у порівнянні з контролем, показник нерозчинного крохмалю був у 1.6 рази нижчий. Даний активатор мав також менш позитивний вплив на глюкоамілазу, що підтверджується підвищенням у 1.3 рази вмістом декстринів у порівнянні із активатором 2. Встановлено також, що за найменшої кількості засівних дріжджів активатор 3 дозволяє отримати найбільшу концентрацію дріжджових клітин у зрілій бражці. Таким чином, даний активатор можна рекомендувати для спиртових заводів, які передбачають виробництво як спирту, так і кормових продуктів на основі барди.

Висновки

У результаті проведених досліджень визначено показники зрілої бражки різних

концентрацій сусла із кукурудзи з використанням ферментних препаратів, сухих дріжджів та стимуляторів їх росту різних постачальників.

1. За концентрації сусла 24 % використання ферментних препаратів та сухих дріжджів різних виробників дозволяє отримати зрілу бражку із нормативними показниками.

2. За концентрації сусла 26 % найбільш прийнятні показники зрілої бражки отримані за використання препаратів і дріжджів ТОВ «Біотест». За показником вмісту нерозчинного крохмалю ефективними є використання препаратів ТОВ «А-PROFI», ТОВ «Біотест», ПП «КОУРОС» та ТОВ «Новоконтакт».

3. За концентрації сусла 28 % препарати та дріжджі ТОВ «Біотест» забезпечували нормативні показники зрілої бражки із незначним перевищенням вмісту нерозчинного крохмалю.

4. Для забезпечення високого вмісту спирту у бражці доцільним є використання ферментних препаратів та сухих дріжджів ПП «КОУРОС» за визначених умов.

5. Встановлено раціональний режим гідролізу крохмалю та інших полімерів зерна за використання визначених препаратів.

6. Використання активаторів росту дріжджів дозволяє суттєво підвищити їх фізіологічну активність, збільшує вміст спирту у зрілій бражці та кількість дріжджових клітин, підвищує цінність кормових продуктів на основі барди.

7. Встановлено, що зародок кукурудзи стимулює процес спиртового бродіння і збільшує вихід спирту.

References

- [1] Babych, I., Boiko, P., Bondar, M., Kuts, A. (2022). Aspects of ethanol manufacture. Different purpose – different technological and economic solutions. *Danish Scientific Journal*, 60, 73–77.
- [2] Boiko, P. (2019). Technological and economic features of ethyl technical ethanol manufacture. *Modern engineering and innovative technologies: International periodic scientific journal*, 8(2), 39–42.
- [3] Bonassa, G., Schneider, L., Cremonez, P., de Jesus de Oliveira, C., Teleken, J. G., Frigo, E. P. (2015). Optimization of first generation alcoholic fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae*. *Acta Scientiarum: Technology, Brazil*, 37(3), 313–320. <https://doi.org/10.4025>.
- [4] Ponnampalam, E., Steele, D.B., Burgdorf, D. (2004). Effect of Germ and Fiber Removal on Production of Ethanol from Corn. (February 2004). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 113-116(1-3), 837–842. doi: 10.1385/ABAB:115:1-3:0837.
- [5] Remize, F., Sablayrolles, J. M., Dequin, S. (2020). Re-assessment of the influence of yeast strain and environmental factors on glycerol production in wine. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 371–378. doi: [10.1046/j.1365-2672.2000.00964.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00964.x)
- [6] Zhao, J., Weiss, T., Du, Z., Hong, S., Bean, S. R., Li, Y., Wang, D. (2022). Comparative evaluation of physicochemical and fermentative responses of three sorghum varieties from dryland and irrigated land and the properties of proteins from distillers' grains. *Journal of Cereal Science*, 104, 103432. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103432>
- [7] Szambelan, K., Nowak, J., Szwengiel, A., Jelen, H. (2020). Quantitative and qualitative analysis of volatile compounds in sorghum distillates obtained under various hydrolysis and fermentation conditions. *Industrial Crops and Products*, 155, 112782. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112782>
- [8] Kovalchuk, S., Shiyani, P., Mudrak, T., Kuts, A., Kyrylenko, R. (2017). Investigation of the influence of nanoparticles of metals on fermentation of wort of high concentrations. *Eureka: Life Sciences*, 6, 51–56.

- [9] Kurakin, M. S., Ozherel'eva, A. V., Motyрева, O. G., Krapiva, T. V. (2021). [A new approach to the development of food products]. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), 434-448. (In Russian). doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-434-448.
- [10] Deng, N., Du, H., Xu, Y. (2020). Cooperative response of *Pichia kudriavzevii* and *Saccharomyces cerevisiae* to lactic acid stress in baijiu fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 4903-4911. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08052>
- [11] Panfilov, V. A. (2020). [Synergetic approach to agro-industrial technologies of the future]. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 642-649. (In Russian). doi: 10.21603/2074-9414-2020-4-642-649.
- [12] Shiyani, P., Mudrak, T., Kyrylenko, R., Kovalchuk, S. (2017). 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*, 11, 72-77.
- [13] Yu, W. W., Zhai, H. L., Xia, G. B., Tao, K. Y., Li, C., Yang, X. Q., Li, L. H. (2020). Starch fine molecular structures as a significant controller of the malting, mashing, and fermentation performance during beer production. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 296-307. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.010>
- [14] Xu, X., Waters, D., Blanchard, C., Tan, S. H. (2021). A study on Australian sorghum grain fermentation performance and the changes in Zaopei major composition during solid-state fermentation. *Journal of Cereal Science*, 98, 103160. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103160>
- [15] Babych, I. M., Boiko, P. M., Bondar, M. V. (2021). [Technological and economic aspects of ethyl alcohol production for various purposes]. *Naukovi pratsi ONAKhT*, 85(2), 77-83. (in Ukrainian).
- [16] Bulii, Yu. V., Obodovych, O. M. (2019). [Energy-efficient bioethanol technology]. *Enerhiia. Biznes. Komfort, Odesa: ONAKhT*, 13-14. (in Ukrainian).
- [17] Zakrevska, L. M. (2019). [Current trends and prospects for the development of enterprises of the alcohol industry of Ukraine]. *Market infrastructure: electronic professional scientific and practical journal*, 27, 142-146. (in Ukrainian).
- [18] Zakrevska, L. M. (2020). [Factors inhibiting the development of Ukrainian alcohol industry enterprises]. *Rozvytok bukhhalterskoho obliku, opodatkuvannia i kontroliu v umovakh intehratsiinykh protsesiv, Kherson: DVNZ KhDAU*, 262-263. (in Ukrainian).
- [19] (2018). [Collection of regulations and instructions on raw materials for ethyl alcohol producers], Kyiv; Vinnytsia: Nilan. (in Ukrainian).
- [20] Kovalchuk S.S. (2019). [Improving the technology of highly concentrated brews from grain raw materials] (D. Dissertation). (in Ukrainian). <https://dspace.nuft.edu.ua/items/e24521dd-01ce-42a7-bcfc-0b6e9bef20cd>
- [21] Kosminska, O. S. (2021). [Improving the technology of alcohol from starch-containing raw materials with intensification of the processes of preparation of matured mash at the conditions of the Uladovsk distillery]. (Master's dissertation). (in Ukrainian). <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a824a42a-75e8-4d41-9afc-ba2fddca832/content>
- [22] Mishchenko, O. S., Oliinyk, S. I. (2023). [Implementation of the national standard for ethyl alcohol]. *Naukovi pratsi DNU «UkrNDIspyrbtbioprod»: «Biotekhnologii prodovolchyykh produktiv: problemy i perspektyvy»*, 46-51. (in Ukrainian).
- [23] [News Service. Bioethanol industry of Ukraine. Assessment and prospects]. <https://latifundist.com/analytics/30-bioetanol-stan-ta-otsinka-galuzi-v-ukrayini> (in Ukrainian).
- [24] Ukrainets, A., Khomichak, L., Shyian, P., Oliinychuk, S. (2007). [Alcohol industry on the way to innovative development]. *Kharchova i pererobna promyslovisht*, 12, 16-19. (in Ukrainian).
- [25] Shyian, P. L., Sosnytskyi, V. V., Oliinichuk, S. T. (2009). [Innovative technologies of the alcohol industry. Theory and practice: a monograph]. Kyiv: Askaniia. (in Ukrainian).