

УДК 663.15

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АКТИВНОСТІ ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ α -АМІЛАЗИ В ПРОЦЕСІ РОЗРІДЖЕННЯ

Данілова К. О.¹, к.т.н., с.н.с.,³

аст. завідувача відділу технології продуктів бродіння

<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>Олійничук С. Т.¹, д.т.н., с.н.с.

звідувач відділу технології продуктів бродіння

<https://orcid.org/0000-0002-2885-6754>Заварзіна О. С.¹, провідний фахівець відділу технології продуктів бродіння<https://orcid.org/0000-0003-3241-8463>Кузнєцова І. В.¹, с.н.с., д.с.-г.н.,

заст. зав. відділу технології цукру, цукропродуктів і інгредієнтів,

<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>Грушецький Р. І.¹, д.т.н., с.н.с.,

головний науковий співробітник відділу технології продуктів бродіння

<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>Грінченко І. Г.¹, д.т.н., с.н.с.,

провідний науковий співробітник відділу технології цукру,

цукровмісних продуктів та інгредієнтів,

<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-06>

Зброджування крохмалевмісної сировини у виробництві етилового спирту лімітується швидкістю ферментативного гідролізу декстринів, від чого залежить вихід етилового спирту з тонни сировини. Різні за природою складові крохмалю – амілоза і амілопектин – з різною швидкістю гідролізуються амілазами і потребують неоднакового набору амілолітичних ферментів. **Метою роботи** є дослідження динаміки активності ферментного препарату α -амілази в процесі розрідження крохмалевмісної сировини на прикладі кукурудзи. **Об'єктом досліджень** є стадія розчинення в процесі ферментативного гідролізу крохмалю кукурудзи. **Предмет дослідження** – кукурудза, ферментний препарат α -амілази, вуглеводний склад середовища. В роботі використовували загальноприйняті в спиртовій промисловості методи досліджень, активність α -амілази визначали колориметричним методом. **Результати досліджень** показали, що через 30 хвилин гідролізу активність альфа-амілази знижується на 6%, а в кінці процесу розрідження її активність складає тільки 19% від початкової. Встановлено, що основна кількість продуктів гідролізу крохмалю утворюється за першу годину розрідження – майже 41% до введенного крохмалю. Подовження процесу до трьох годин сприяє незначному збільшенню утворення цукрів. При цьому кількість глюкози як кінцевого продукту гідролізу крохмалю становить лише 16,7-19,1% від суми цукрів. Досліджено динаміку утворення цукрів під час ферментативного гідролізу крохмалю в залежності від кількості доданого розріджувачого ферменту. Визначено, що оптимальною дозою α -амілази є 1,5 од./г крохмалю, за якою утворюється 12,3 г цукрів, що складає 23% від введенного крохмалю, тобто майже повне оцукрення амілози. Встановлено, що на стадії розчинення крохмалю вуглеводний склад суслу представлений мальтозою і мальтодекстринами (3,5-3,9 г/100 см³), а вміст глюкози значно менший – до 1,18 г/100 см³. Основна кількість цукрів утворюється за першу годину тривалості

процесу. Результати досліджень будуть використані для розробки ефективної схеми гідролізу біополімерів сусле ферментами амілазного комплексу на стадії розчинення крохмалю сировини.

Ключові слова: кукурудза, крохмаль, гідроліз, ферментний препарат, α -амілаза, ферментативна активність, глюкоза, цукри

RESEARCH OF ACTIVITY DYNAMICS OF ENZYME PREPARATION α -AMYLASE IN THE DILUTION PROCESS

Danilova Kateryna¹, PhD, Senior Researcher,
Deputy Head of Fermentation Products Technology Department
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

Serhii Oliynichuk¹, D-r of Science,
Senior Researcher Head of Fermentation Products Technology Department
<https://orcid.org/0000-0002-2885-6754>

Oksana Zavarzina¹, Senior Specialist
of Fermentation Products Technology Department
<https://orcid.org/0000-0003-3241-8463>

Inha Kuznietsova¹, D-r of Sciences, Senior Researcher, Deputy Head
Department of Sugar Technology, sugar products and ingredients
<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Roman Grushetskiy¹, D-r of Science,
Senior Reasercher, Head of Fermentation Products Technology Department,
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>

Iryna Hrynenko¹, PhD, Sen. Res.,
Chief Researcher of Sugar, Sugar content products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-06>

Fermentation of starch-containing raw material in the alcohol production is limited by rapidity of enzymohydrolysis dextrins, on what the alcohol productivity depends from tons of raw material. Different by nature constituents of starch – amylose and amylopectin with different hydrolysis rate of amylases and need the different set of amylolytic enzymes. **The aim of work** is research of dynamics of activity of enzyme preparation α -amylase in the process of dilution of starch-containing raw material on the example of corn. **The object of study** is the dissolution stage in the process of enzymatic hydrolysis of corn starch. **Subject of research** – corn, enzyme preparation of α -amylase, carbohydrate composition of the medium. **The research methods** generally accepted in the alcohol industry were used, the activity of α -amylase was determined by colorimetric method. **The results of the study** showed, that in 30 minutes of hydrolysis activity of α -amylase goes down on 6% at the end of dilution process her activity folds only 19% initial. It is set that the basic amount of foods of starch hydrolysis appears for the first hour of dilution – almost 41% of the entered starch. Extending the process to three hours contributes to a slight increase in sugar production. Thus the amount of glucose as finish good of hydrolysis of starch presents the 16,7-19,1% of sugars only. The dynamics of sugars formation is investigational during the enzyme hydrolysis of starch depending on the amount of the added diluting enzyme. Certainly, that the optimal dose α -amylase is 1,5one/g of starch, 12,3 g of sugars appear after that makes 23% of the entered starch, that is to the almost complete saccharification of amylose. It is set that on the dissolution stage of starch carbohydrate composition of mash is presented by a maltose and maltodextrins (3,5-3,9 g/100sm³), and content of glucose is considerably less – 1,18 g/100 sm³. The basic amount of sugars appears for

the first hour of duration. The research results will be used to develop an effective scheme for the hydrolysis of mash biopolymers by enzymes of the amylase complex at the dissolution stage of raw materials starch

Keywords: corn, starch, hydrolysis, enzyme preparation, α -amylase, enzyme activity, glucose, sugars

Постановка проблеми. Технологічна платформа виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини базується на трьох окремих взаємозв'язаних стадіях:

- ферментативне розрідження крохмалю з руйнуванням 1-4 глюкозидних зв'язків амілази, ферментативний гідроліз 1-6 глюкозидних зв'язків амілопектину до зброджуваних цукрів (глюкози);
- культивування виробничих дріжджів;
- технологія спиртового бродіння.

Збродження крохмалевмісної сировини у виробництві етилового спирту лімітується швидкістю ферментативного гідролізу декстринів, від чого залежить вихід етилового спирту з тонни сировини.

Крохмалі, отримані з різних джерел сировини (картопля, кукурудза, рис, пшениця тощо), розрізняються за формою і розмірами, співвідношенням і хімічною структурою молекул амілози і амілопектину [1].

Різні за природою складові крохмалю – амілоза і амілопектин з різною швидкістю гідролізуються амілазами і потребують неоднакового набору амілолітичних ферментів. Зокрема, для гідролізу амілози достатньо альфа-амілази, яка розчеплює 1,4 – зв'язок (рис. 1), а для гідролізу амілопектину, крім α -амілази необхідні ферменти, що каталізують гідроліз α -1,6 – глюкозидних зв'язків, тобто глюкоамілаза або декстриназа (рис. 2).

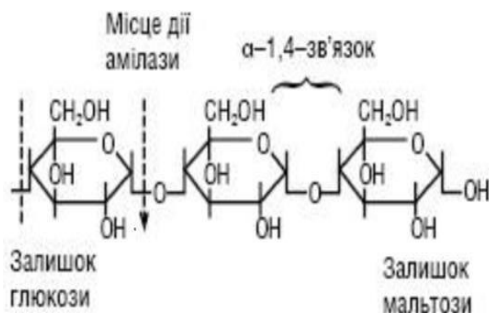


Рис. 1. Дія α -амілази на амілозу [1]

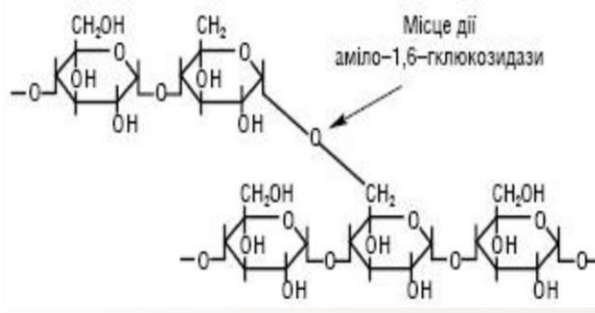


Рис. 2. Дія глюкоамілази на амілопектин [1]

Ефективність гідролізу крохмалю в процесі сухого подрібнення кукурудзи є визначальним фактором загальної конверсії крохмалю в етанол.

В роботах Gantis Murthy et al. (2011) [2], D. Apar and B. Ozbek. (2004) [3] для моделювання структури та гідролізу крохмалю було розроблено модель, на якій досліджували ступінь гідролізу крохмалю та залишкову активність α -амілази в порівнянні із змінними процесу, а саме: рН, температуру, в'язкість, швидкість робочого колеса, час обробки та додані матеріали. Результати показали, що кінетика гідролізу крохмалю є складним процесом і залежить від властивостей субстрату, його однорідності та від комбінованої активності α -амілази та глюкоамілази.

Дослідженнями утворення цукрів упродовж трьох годин реакції в ході гідролізу крохмалю кукурудзи встановлено зміну швидкості перебігу процесу гідролізу крохмалю ферментними препаратами [4, 5]. Висока швидкість гідролізу подрібненої кукурудзи зберігається до 15 хвилин, після цього швидкість характеризується відносно повільнішим утворенням глюкози, яка є інгібітором ферментного препарату.

В літературі багато наукових праць присвячено питанню гідролізу крохмалю синергічною дією амілази та глюкоамілази [6, 7]. При низькому вмісті вологи напруга

зсуву, що необхідна для повного розчинення кукурудзяного крохмалю, є настільки високою, що не можна уникнути значної інактивації ферментів, що призводить до необхідності відокремлення розчинення крохмалю та його розрідження у двох окремих стадіях обробки. Утворення побічних продуктів, переважно ізомальтози та ізомальтотріози, збільшується зі збільшенням вмісту сухої речовини в субстраті. Проводились дослідження одночасного процесу оцукрювання та бродіння (SSF) нативного крохмалю з кукурудзяного борошна за допомогою *Saccharomyces cerevisiae* та гранульованого ферменту гідролізу крохмалю [8]. Була отримана максимальна концентрація етанолу 110,36 г/л для нативного кукурудзяного крохмалю із застосуванням концентрації затору 25%, що призвело до виходу етанолу 85,71%. Оптимальні умови для вищевказаного виходу були знайдені при дозі ферменту 2,05 мл/кг та pH 5,0.

Водночас, до цього часу не проводились поглиблені дослідження кінетики розріджування крохмалевмісної сировини в залежності від різного дозування амілолітичного ферментного препарату.

Метою роботи є дослідження динаміки активності ферментного препарату α -амілази в процесі розрідження крохмалевмісної сировини на прикладі кукурудзи. Об'єктом досліджень є процес ферментативного гідролізу крохмалю кукурудзи. Предмет дослідження – кукурудза, ферментний препарат α -амілази Tegamil HS, вуглеводний склад середовища.

Матеріали та методи. В роботі використовували загальноприйняті в спиртовій промисловості методи досліджень [9, 10, 11, 12]. Для визначення умовної крохмалистості зерна використовували поляриметричний метод (метод Еверса) [9,11,12].

Вміст вологи зерна – вологоміром РМ, вміст вологи помелу – шляхом висушування [12], ступінь подрібнення – на лабораторному млині шляхом просіювання через сито з діаметром вічок 1мм. Активність α -амілази визначали колориметричним методом за COY 15.9-37-241:2005 [13]. Динаміку гідролізу крохмалю за кількістю утворених цукрів визначали методом високоефективної рідинної хроматографії ВЕРХ на хроматографі Shimadzu Lab Solutions.

Для проведення досліджень використовували традиційну для спиртової галузі сировину – кукурудзу. Сусло концентрацією 26-28% СР готували з подрібненої кукурудзи з дисперсністю 100% проходу через сито з діаметром отворів 1мм, змішуючи її з водою у співвідношенні 1 : (2,3-2,5). Гідроліз крохмалю здійснювали комерційними ферментними препаратами: α -амілази (MEGA TA-18 виробництва Peli Bio-Chem Technology (Shanghai) Co) з витратами 0,5; 1; 1,5; 2,0 од. активності на 1 г крохмалю за температури 92-93°C упродовж трьох годин з визначенням погодинно кількості моно- і дицукрів.

Результати досліджень.

В дослідженнях використовували подрібнене зерно кукурудзи, яке характеризується наступними показниками (табл. 1).

Показники якості кукурудзи

№	Показник	Значення
1	Вміст крохмалю,%	65,0
2	Вміст домішки,%	3,2
3	Вміст вологи,%	14,0
4	Сума моно-і дицукрів,%	2,6
5	Вміст сухих речовин,%	86,0
6	Доброякісність,%	75,6

З наведених даних видно, що кукурудза має крохмалистість 65%, також в ній міститься до 2,6% вільного цукру, представленого, зокрема, рафінозою, мальтозою, цукрозою, глюкозою і фруктозою.

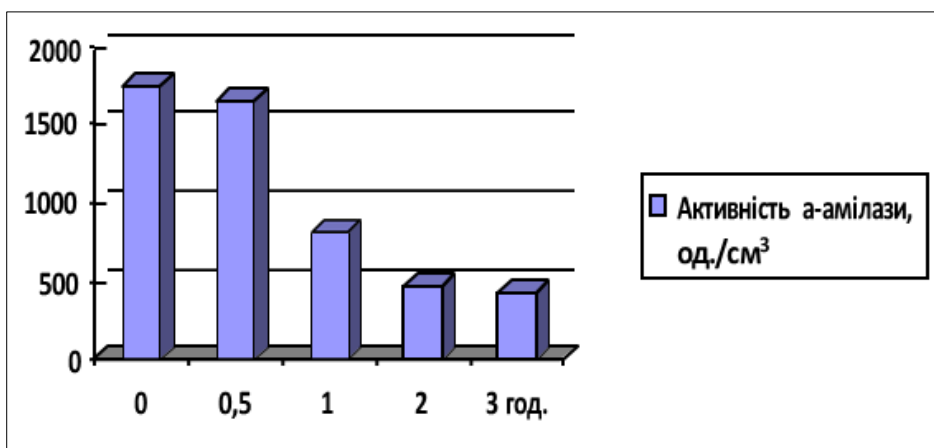
З помелу кукурудзи готували суміш з водою в об'ємі 100 см³ з вмістом сухих речовин і крохмалю 26 і 18,2 г відповідно. Суміш

гідролізували α -амілазою, що додавали в кількості 2 од./1 г крохмалю, за температури 90-92°C упродовж трьох годин. Пробу відбирали для аналізу ферментативної активності альфа-амілази через 30 хвилин, 1 годину, 2 години і 3 години розрідження. Динаміку активності альфа-амілази наведено в таблиці 2 та на рис. 3.

Динаміка активності α -амілази в процесі розрідження суслу

Термін розріджування	Оптична густина	Маса прогідролізованого крохмалю, г	Амілолітична активність, од./см ³
Початкова активність ФП	1,415	-	1748,7
30 хвилин	1,204	0,0267	1650
1 година	1,308	0,0161	808,35
2 години	1,343	0,0107	477,66
3 години	1,340	0,00918	331,32

Як видно з наведених даних, зі збільшенням терміну розріджування крохмалю суслу активність ферментного препарату поступово знижується. Якщо через 30 хвилин гідролізу активність альфа-амілази знижується на 6%, то через 1 годину вона падає вже на 54% і з кожною наступною годиною розрідження продовжує поступово знижуватися. В кінці процесу розрідження активність альфа-амілази становить 331 од./см³, що складає 19% від початкової.

Рис. 3. Динаміка зміни ферментативної активності α -амілази в залежності від тривалості розрідження

Зниження амілозної активності ферментного препарату альфа-амілаза зі збільшенням терміну розрідження пояснюється тим, що в субстраті накопичуються продукти реакції гідролізу крохмалю і ферментний препарат утворює з ними складні комплекси. Саме тому знижується можливість ферменту вступати в реакцію і, відповідно, знижується його ферментативна активність.

Динаміка накопичення продуктів гідролізу крохмалю залежно від тривалості процесу наведено в таблиці 3.

Як видно з даних таблиці 3, основна кількість продуктів гідролізу крохмалю утворюється за першу годину розрідження – 7,44 г/100 см³ або 40,9% до введенного крохмалю. Подовження процесу до трьох годин сприяє незначному збільшенню утворення цукрів як за їх сумою, так і за окремими моно- і дицукрами, що відповідає теорії гідролізу крохмалю α -амілазою, яка руйнує 1,4-зв'язки крохмалю. При цьому кількість глюкози як кінцевого продукту гідролізу крохмалю становить лише 16,7-19,1% від суми моно- і дицукрів. Отримані дані свідчать про необхідність корегування тривалості процесу, що практикується в технології виробництва спирту в промислових умовах.

Таблиця 3

Динаміка утворення моно- і дицукрів на стадії розчинення крохмалю

Тривалість розрідження, год	Вміст цукрів, г/100 см ³ , середні значення				Сума моно- і дицукрів, г/100 см ³	% гідролізованого до введеного крохмалю
	мальто-декстрини	мальтоза	глюкоза	фруктоза		
0,5	2,91	2,94	1,20	0,14	7,19	39,5
1	2,95	3,07	1,26	0,16	7,44	40,9
2	3,12	3,15	1,43	0,16	7,86	43,2
3	3,28	3,34	1,61	0,18	8,41	46,2

Наступним етапом було дослідження швидкості реакції гідролізу крохмалю в залежності від витрати розріджуючого ферментного препарату. В промислових умовах кількість ферментних препаратів, що вводяться на стадії розрідження, розраховують, виходячи з норми витрати ферментного препарату альфа-амілази – 2 од. активності/г крохмалю.

Розрідження проводили упродовж 3 годин за температури 95-98°C з ферментним препаратом альфа-амілази з початковою активністю 1750 од./см³ в кількості 2; 3; 4; 5 од./г крохмалю. Динаміка накопичення продуктів гідролізу крохмалю в залежності від введеного ферментного препарату альфа-амілази наведена в таблиці 4.

Таблиця 4

Динаміка накопичення продуктів гідролізу крохмалю в залежності від введеного ферментного препарату α-амілази

Витрати α-амілази, од./г крохмалю/введеного крохмалю, г	Тривалість розрідження, години	Вміст цукрів, г/100 см ³				Утворено цукрів, г на об'єм 250 см ³	Кількість цукрів, у% до введеного крохмалю
		Мальтоза	Фруктоза	Глюкоза	Сума моно- і дицукрів		
2 / 47,66	1	3,86	0,12	0,74	4,72	11,8	24,8
	2	3,52	0,15	0,54	4,21	10,52	22,1
	3	3,27	0,15	0,62	4,04	10,1	21,2
3 / 47,66	1	3,58	0,12	0,89	4,59	11,47	24,0
	2	3,33	0,14	0,58	4,05	10,12	21,2
	3	3,07	0,15	0,46	3,68	9,2	19,3
4 / 47,66	1	3,61	0,10	0,99	4,7	11,75	24,6
	2	3,50	0,09	0,70	3,66	9,15	19,2
	3	3,29	0,08	0,40	3,77	9,42	19,8
5 / 47,66	1	3,09	0,09	0,75	3,93	9,83	20,6
	2	3,03	0,08	0,72	3,83	9,58	20,1
	3	3,01	0,08	0,70	3,79	9,47	19,9

Як видно з даних таблиці 4, зі збільшенням дози ферментного препарату альфа-амілази, зменшується кількість утворених цукрів і, відповідно, зменшується відсоток цукрів відносно введеного крохмалю. Якщо за дозою ферментного препарату 2 од. активності утворено за першу годину розрідження 11,8 г цукрів, що відповідає 24,8% від введеного крохмалю, то за дозою 5 од. активності за першу годину розрідження утворилось тільки 9,83 г цукрів, що відповідає 20,6% до введеного крохмалю.

Таким чином, збільшення норми витрати α -амілази з 2 до 5 одиниць активності не покращує процес розщеплення амілози та не сприяє збільшенню утворення цукрів. Тому було досліджено вплив зменшення дози ферментного препарату альфа-амілази на динаміку утворення цукрів (табл. 5). Як видно з даних таблиці 5, зі зменшенням дози введеного ферментного препарату альфа-амілази процес гідролізу амілози проходить більш інтенсивно. Так, за дозою 2 од. активності утворюється за першу годину 12,02 г цукрів, що складає 22,7% від введеного крохмалю, а при дозі 1,5 од. активності за першу годину утворюється 12,27 г цукрів або 23,2% до введеного крохмалю. З подальшим зменшенням дози ферментного препарату кількість утворених цукрів падає і становить 11,85 г і 11,57 г, що становить 20% від введеного крохмалю. Таким чином, оптимальною дозою введення розріджувача ферментного препарату альфа-амілази є 1,5 од./г крохмалю.

Таблиця 5

**Динаміка накопичення продуктів гідролізу крохмалю
в залежності від введеного ферментного препарату α -амілази**

Витрати α -амілази, од./г крохмалю / введено крохмалю, г	Тривалість розрідження, години	Вміст цукрів, г/100 см ³				Утворен оцукрів, гна об'єм 250 см ³	Кількість цукрів, у% до введеного крохмалю
		Мальтоза	Фруктоза	Глюкоза	Сума моно- і дицукрів		
0,5 / 52,87	1	3,92	0,09	0,62	4,63	11,57	20
	2	3,71	0,12	0,67	4,50	11,26	21,3
	3	3,66	0,10	0,42	4,18	10,44	21,9
1 / 52,87	1	3,45	0,18	1,11	4,74	11,85	19,8
	2	3,43	0,15	1,12	4,70	11,75	22,2
	3	3,41	0,12	1,05	4,58	11,45	22,4
1,5 / 52,87	1	3,52	0,21	1,18	4,91	12,27	23,2
	2	3,53	0,19	1,16	4,88	12,2	23
	3	3,52	0,17	1,16	4,85	12,13	22,9
2 / 52,87	1	3,50	0,19	1,12	4,81	12,02	22,7
	2	3,52	0,18	1,04	4,74	11,84	22,4
	3	3,47	0,16	1,01	4,64	11,59	21,9

З наведених даних видно, що на стадії розрідження крохмалю відбувається його гідроліз до мальтози і мальтодекстринів, кількість яких уже після першої години становить 3,5-3,9 г/100 см³ відповідно. Утворення глюкози під час гідролізу крохмалю становило до 1,18 г/100 см³. Утворення глюкози під час гідролізу крохмалю характеризується найменшим терміном процесу релаксації, тобто відрізок часу, упродовж якого утворюються моно- і дицукри, завжди буде менший, ніж для гідролізатів з більшим значенням ступеня полімеризації.

Висновки.

1. Досліджено динаміку зміни ферментативної активності α -амілази в залежності від тривалості розрідження. Встановлено, що зі збільшенням часу розрідження ферментативна активність альфа-амілази зменшується і на третю годину розрідження становить 19% від первинної.

2. Досліджено динаміку утворення цукрів під час ферментативного гідролізу крохмалю в залежності від кількості доданого розріджувача ферменту. Визначено, що оптимальною дозою α -амілази є 1,5 од./г крохмалю, за якої утворюється 12,3 г моно- і дицукрів, що складає 23% від введеного крохмалю, тобто майже повне оцукрення амілози.

3. Встановлено, що на стадії розчинення крохмалю вуглеводний склад суслу представлений мальтозою і мальтодекстринами (3,5-3,9 г/100 см³), а вміст глюкози значно менший – до 1,18 г/100 см³. Основна кількість цукрів утворюється за першу годину тривалості процесу.

Бібліографія

1. Гулюк Н. Г., Жушман А. И., Ладур Т. А., Штыркова Е. А. Крахмал и крахмалопродукты. М: Агропромиздат, 1985. 238 с.
2. Ganti s Murthy, David B Johnston, Kent d Rausch, MT Tumdleson, Vijay Singh. Starch hydrolysis modeling: application to fuel ethanol production. Bioprocess Biosyst Eng. 2011. 34 (7): 879-890.
3. Данілова К. О., Олійнічук С. Т., Грушецький Р. І. Використання іммобілізованих мікроорганізмів в технології бродіння. Продовольчі ресурси, 2020. № 15. С. 91-101. doi.org/10.31073/foodresources2020-15-10.
4. Apar D., Ozbek B. (2004) Alpha-amylase inactivation during corn starch hydrolysis process. Journal Process biochemistry., 39 (12): 1877-1892.
5. Van der Veen, S. Veelaert, Van der Goot, R. M. Boom. Starch hydrolysis under low water conditions: A conceptual process design. Journal of Food Engineering. 75 (2): 178-186.
6. Tim Baks, Frans H. J. Kappen, Anja E. M. Janssen, Remko Boom. (2007) Towards an optimal process for gelatinization and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with alpha-amylase from B. licheniformis. Journal of Cereal science, 47 (2): 214-225.
7. Bialas W., Czerniak A., Szymanowska-Powalowska D. (2014) Kinetic modeling of simultaneous saccharification and fermentation of corn starch for ethanol production. Journal Acta biochimica Polonica, 61 (1): 153-162.
8. Маринченко В. О., Домарецький В. А., Шиян П. Л. та ін. Технологія спирту. Вінниця: «Поділля-2000», 2003. 496 с.
9. Рухлядева А. П., Филатова Т. Г., Чередниченко В. С. Справочник для работников лабораторий спиртовых заводов. М: «Пищевая промышленность», 1979. 231 с.
10. Великая О. И., Суходол В. Ф. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств. М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1983. 307 с.
11. ДСТУ 4864:2007 Сировина крохмалевмісна для спиртового виробництва. Методи визначення вологості. Держспоживстандарт України. Київ, 2007. 14 с.
12. ДСТУ 46.045.2003 Зерно. Методи визначення умовної крохмалистості. Міністерство аграрної політики України. Київ, 2004. 23 с.
13. СОУ 15.9-37-241:2005 Препарати ферментні для спиртового виробництва. Методи визначення амілолітичної активності. Міністерство аграрної політики України. Київ, 2006. 26 с.

References

1. Gulyik N. G., Zhushman A. I., Ladur T. A., Shtyrkova E. A. (1985). Krohmal i krohmaloprodukty. [Starch and starch products]. M: Agropromizdat, 238 s. [in Russian].
2. Ganti s Murthy, David B Johnston, Kent d Rausch, MT Tumdleson, Vijay Singh (2011). Starch hydrolysis modeling: application to fuel ethanol production. Bioprocess Biosyst Eng., 34 (7): 879-890.
3. Danilova K., Oliynichuk S., Grushetskyi R. (2020). Vykorystannya immobilizovanyh mikroorganizmiv v tehnologii brodinnya. [Use of immobilized microorganisms in fermentation technology] Prodovolchi resursy. № 15. S. 91-101. Doi.org/10.31073/foodresources2020-15-10. [in Ukrainian].
4. D. Apar, B. Ozbek. (2004). Alpha-amylase inactivation during corn starch hydrolysis process. Journal Process biochemistry., 39 (12): 1877-1892.

5. Van der Veen, S. Veelaert, Van der Goot, R.M. Boom. (2006). Starch hydrolysis under low water conditions: A conceptual process design. *Journal of Food Engineering*, 75 (2): 178-186.
6. Tim Baks, Frans H.J. Kappen, Anja E.M. Janssen, Remko Boom. (2007). Towards an optimal process for gelatinization and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with alpha-amylase from *B. licheniformis*. *Journal of Cereal science*, 47 (2): 214-225.
7. W. Bialas, A. Czerniak, D. Szymanowska-Powalowska. (2014) Kinetic modeling of simultaneous saccharification and fermentation of corn starch for ethanol production. *Journal Acta biochimica Polonica*, 61 (1): 153-162.
8. Marynchenko V., Domaretskii V., Shyyan P. (2003). *Technologiya spyrtu. [Alcohol technology]* Vinnytsya. Podillya-2000, 496 s. [in Ukrainian].
9. Ruhlyadeva A. P., Filatova T. G., Cherednichenko V. S. (1979). *Spravochnik dlya rabotnikov laboratoriy spirtovykh zavodiv [Handbook for laboratories worker of distilleries]*. M.: «Pischevaya promyshlennost». 231 p. [in Russian].
10. Velikaya O. I., Suhodol V. F. (1983) *Laboratornyi praktikum po kursu obshei tehnologii brodilnykh proizvodstv. Laboratory workshop on the course of general technology of the fermentation production*. M.: «Legkaya i pischevaya promyshlennost», 307 p. [in Russian].
11. DSTU 4864:2007 *Syrovyna krohmalevmisna dlya spyrtovogo vyrobnyctva. Metody vyznachennya vologosti. [Starch-containing material for alcohol production. Methods for determination of moisture]*. Derzhspozhivstandart Ukrainy. Kyiv, 2007. 14 p. [in Ukrainian].
12. GSTU 46.045.2003 *Zerno. Metody vyznachennya umovnoi krohmalystosti [Grain. Methods for determination of conditional starchyness]*. Ministerstvo agrarnoi polityky Ukrainy. Kyiv, 2004. 23 p. [in Ukrainian].
13. SOU 15.9-37-241:2005 *Preparaty fermentni dlya spyrtovogo vyrobnyctva. Metody vyznachennya amilolitychnoi aktyvnosti. [Enzyme preparation for the alcohol production. Methods for determination of amylolytic activity]*. Ministerstvo agrarnoi polityky Ukrainy, Kyiv, 2006. 26 p. [in Ukrainian].