

Н.І. Сабадаш, асп.

О.В. Грабовська, доктор техн. наук

В.О. Мірошник, канд. техн. наук

Є.В. Розборський, здобувач

N. Sabadash, O. Grabovska,

V. Miroshnik, E. Rosborski

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ
ВИСОКОМАЛЬТОЗНИХ СИРОПІВ ІЗ КРОХМАЛЮ
THE OPTIMISATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETRES RECEPTION
OF MALTOSERICH SIRUPS FROM STARCH**

Визначено оптимальні технологічні параметри ферментативного цукрювання кукурудзяного крохмалю у виробництві високомальтозних сиропів.

Ключові слова: *високомальтозна патока, ферментні препарати, цукрювання, оптимізація.*

The optimum technological conditions of corn starch enzymes saccharification from manufacture of maltose-rich syrups are defined.

Key words: *maltose-rich syrups, enzyme, carrying, amylose, optimisation.*

Високомальтозна патока є цінним харчовим продуктом, що широко використовується в ряді галузей харчової промисловості: кондитерській (карамель, морозиво, ірис, халва, помадні цукерки, рулети, тістечка, глазурь для тортів, столові сиропи), консервній (варення, джеми, консервування плодів), хлібопекарській, молочній, пивоварній, виробництві вин, алкогольних та безалкогольних напоїв та ін.

© Н.І. Сабадаш, О.В. Грабовська, В.О. Мірошник, Є.В. Розборський,
2008

Високомальтозна патока, що містить понад 65 % мальтози по відношенню до маси редукувальних речовин (РР), більш солодка і менш в'язка в порівнянні зі звичайною карамельною патокою, негіроскопічна, термостабільна, має низьку в'язкість, високу солодкість, не кристалізуються при зберіганні завдяки низькому вмісту глюкози (до 10 % до маси РР), тому придатна для заміни цукру в різних харчових продуктах.

При виробництві високомальтозної патоки основною операцією є гідроліз крохмалю, який проводять послідовно у два етапи: розріджування та зцукрювання. На сьогодні для здійснення цих процесів у крохмале-патоковій промисловості широко використовують різні ферментні препарати, що виявляють специфічну дію на крохмаль. Завдяки специфічній дії ферментів, залежно від обраного ферментного препарату та умов гідролізу (температури, рН, тривалості процесу, дозування та місця введення препарату в технологічний процес) можна отримувати сиропи прогнозованого вуглеводного складу з різним вмістом мальтози та визначеними властивостями, що дозволить отримувати мальтозні продукти для різних галузей харчової промисловості. Тому проведення досліджень по використанню ферментних препаратів в мальтозному виробництві вирішує актуальну задачу покращення якості та розширення асортименту мальтозних продуктів.

На попередньому етапі було проведено узагальнений експеримент по визначенню технологічних параметрів процесу ферментативного зцукрювання попередньо розрідженого кукурудзяного крохмалю, дослідним шляхом встановлено оптимальні витрати ферментних препаратів для отримання високомальтозних сиропів [5]. Для β -амілази оптимальним було додавання 0,8 кг ферментного препарату на тону сухих речовин (кг/т СР) крохмалю, для пуллуланази – 1 кг/т СР крохмалю, грибну α -амілазу рекомендовано вводити через 9 годин після початку

процесу зцукрювання у кількості 0,8 кг/т СР крохмалю. В результаті проведених експериментів було встановлено, що для отримання високомальтозних сиропів процес зцукрювання краще розпочинати із додавання у субстрат ферментних препаратів β -амілази та пуллуланази, а грибну α -амілазу дозувати через 9 годин від початку процесу зцукрювання. Завдяки такому введенню ферментних препаратів на етапі зцукрювання можливе отримання високомальтозних сиропів протягом 48 годин.

Для накопичення саме мальтози в гідролізатах крохмалю суттєве значення має дотримання технологічного режиму, а саме таких параметрів: відповідних витрат зцукрюючих ферментних препаратів, місця введення грибної α -амілази, тривалості процесу зцукрювання. Накопичення дослідних даних дало змогу здійснити задачу оптимізації за допомогою методів математичного моделювання.

Розв'язання задачі оптимізації передбачає розроблення математичної моделі для вираження залежності вихідних параметрів процесу від вхідних факторів [2]. Математичні моделі, одержані при дослідженні технологічних об'єктів, дозволяють вирішувати ряд завдань, серед яких особливе місце займає задача пошуку оптимальних значень досліджуваного об'єкта.

Для аналізу процесу зцукрювання розрідженої суспензії кукурудзяного крохмалю композицією ферментних препаратів було розроблено математичну модель, що описує вплив вхідних параметрів процесу: концентрації β -амілази, пуллуланази, грибної α -амілази, місця введення грибної α -амілази, загальної тривалості зцукрювання на накопичення мальтози в гідролізатах. За допомогою цієї моделі було визначено параметри оптимального технологічного режиму.

Спочатку було проведено статистичне оброблення експериментальних даних, отриманих у попередніх дослідженнях. Проте за допомогою одного змінного фактору (локального критерію) неможливо однозначно охарактеризувати досліджуваний процес [6], доцільним було

визначення сукупного впливу всіх п'яти факторів на процес накопичення мальтози. Для вирішення задачі оптимізації ферментативного зцукрювання крохмалю до мальтози був обраний узагальнений критерій оптимізації, який дозволяє єдиним кількісним показником узагальнити обрані локальні критерії оптимальності [1, 3, 7, 8]:

$$F = \prod_{i=1}^n f_i'(x)^{\lambda_i} \rightarrow \max \quad (1)$$

де: $f_i'(x)$ - локальні критерії оптимальності в безрозмірній формі;

λ_i – вагові коефіцієнти, $i = 1 \dots 5$.

Для оцінки ефективності процесу ферментативного зцукрювання крохмальних гідролізатів до мальтози, як основні фактори, які впливають на процес було обрано наступні локальні критерії (в натуральній формі):

$f_1(x)$ – витрати ферментного препарату β -амілази, кг/т СР;

$f_2(x)$ – витрати ферментного препарату пуллулази, кг/т СР;

$f_3(x)$ – витрати ферментного препарату грибної α -амілази, кг/т СР;

$f_4(x)$ – місце введення грибної α -амілази, год;

$f_5(x)$ – загальний час зцукрювання, год.

Інші фактори впливу вважаються постійними.

Рівні факторів та інтервали варіювання (табл. 1) вибирали спираючись на результати попередніх лабораторних досліджень [5].

Для реалізації поставленої задачі нами був обраний рототабельний план другого порядку. Рототабельність передбачає рівність і мінімальність дисперсій передбачених значень змінної для всіх точок факторного простору [4]. Експеримент здійснювали за певним планом – попередньо складеним оптимальним алгоритмом зміни факторів, реалізація якого дозволяє здійснити комплексний вплив на стан об'єкта дослідження. План експерименту був складений таким чином, щоб рандомізувати (тобто зробити випадковими) систематично діючі фактори, які важко підлягають обліку і контролю, для того, щоб можна було врахувати їх статистично.

Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Дозування β -амілази, кг/т	Дозування пуллуланази, кг/т	Дозування грибної α - амілази, кг/т	Місце введення грибної α - амілази, год	Термін зцукрювання, год
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Нижній рівень	0,5	0,6	0,5	6	24
Основний рівень	0,9	1	0,95	9	36
Верхній рівень	1,3	1,4	1,4	12	48
Інтервал варіювання	0,4	0,4	0,45	3	12
Рівень - α	0	0,1	0	2	7,5
Рівень + α	1,8	1,8	1,9	16	64,5

В ході досліджень готували суспензію кукурудзяного крохмалю з масовою часткою сухих речовин 30 %. Ферментативне розріджування суспензії проводили у одну стадію ферментним препаратом термостабільної бактеріальної α -амілази Alphasin T7L (фірми Genencor) у кількості 4 од.ак./г СР кукурудзяного крохмалю до досягнення значення глюкозного еквівалента гідролізата в межах 12–18 %, яке і є оптимальним для подальшого зцукрювання.

Ферментативне зцукрювання гідролізатів проводили протягом 48 годин в термостаті EL-20R за температури 57° С при постійному перемішуванні. Процес зцукрювання розпочинали із одночасного додавання у субстрат β -амілази Optimalt ВВА фірми Genencor (США) та пуллуланази Gamylozym KPU-L фірми Gammazym (Німеччина). Ферментні препарати дозували у кількості, яка відповідала поставленому плану експерименту. Грибну α -амілазу Gammafungase-A фірми Gammazym (Німеччина) вводили після початку процесу зцукрювання через певний час, що відповідав параметрам досліду згідно з планом експерименту. Проби гідролізатів по закінченні зцукрювання, витримували на киплячій водяній бані протягом 15 хв для інактивації фермента. Вуглеводний склад високомальтозних гідролізатів визначали

на хроматографі для високоефективної рідинної хроматографії (ВЭЖХ) з рефрактометричним детектуванням “Agilent 1100” (США).

Вибір рівнянь, розрахунків та уточнення коефіцієнтів цих рівнянь здійснювали за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000 з використанням методу найменших квадратів. Шляхом порівняння розрахункових значень з експериментальними було розраховано середньоквадратичні та відносні похибки. В результаті було отримано наступне рівняння локальних критеріїв оптимізації (в натуральних значеннях факторів).

Накопичення мальтози у високомальтозних гідролізатах, %:

$$FF(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 24.098167 + 1585 \cdot x_1 + 1699.25 \cdot x_2 + 1678 \cdot x_3 - 0.117667 \cdot x_4 + 1.2075 \cdot x_5 - 21800 \cdot x_1 \cdot x_3 - 3.16667 \cdot x_1 \cdot x_5 - 66666.67 \cdot x_1^2 - 74750 \cdot x_2^2 - 46120 \cdot x_3^2 - 1.4125 \cdot 10^{-2} \cdot x_5^2$$

Отримане рівняння має практичне значення і дозволяє за вихідними технологічними параметрами зцукрювання спрогнозувати хід процесу і якість отриманих гідролізатів.

Відносна похибка отриманих рівнянь знаходиться в межах допустимих значень (5 % від середнього значення кожного з факторів).

Використання узагальненого критерію оптимізації вимагає перетворення локальних критеріїв оптимальності з натуральної в безрозмірну форму, яке здійснюється методом Харрінгтона [6] через визначення проміжних параметрів fb_i за допомогою функції бажаності. Нові, безрозмірні значення локальних критеріїв, що отримані за допомогою функції бажаності, будуть змінюватись від 0,01 до 0,99, тому, що в узагальненому критерії оптимізації вони будуть не чутливими при наближенні до 0 або 1 [9].

Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона, а також програма оптимізації і розрахунків оптимальних параметрів процесу ферментативного зцукрювання кукурудзяного крохмалю до мальтози виконані за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000.

На рисунках 1, 2, та 3 зображені лінії рівня узагальненого критерію оптимізації процесу зцукрювання розрідженої суспензії кукурудзяного крохмалю до мальтози при використанні комплексу ферментних препаратів β -амілази, пуллуланази та грибною α -амілази.

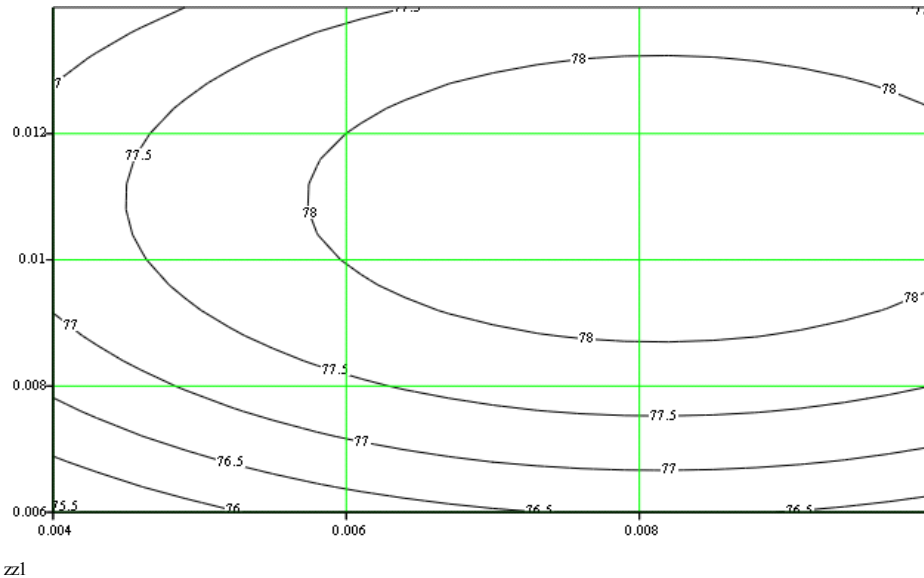


Рис. 1. Лінії рівня узагальненого критерію оптимізації (мальтози) в координатах грибною α -амілази і пуллуланази, інші фактори на оптимальному рівні

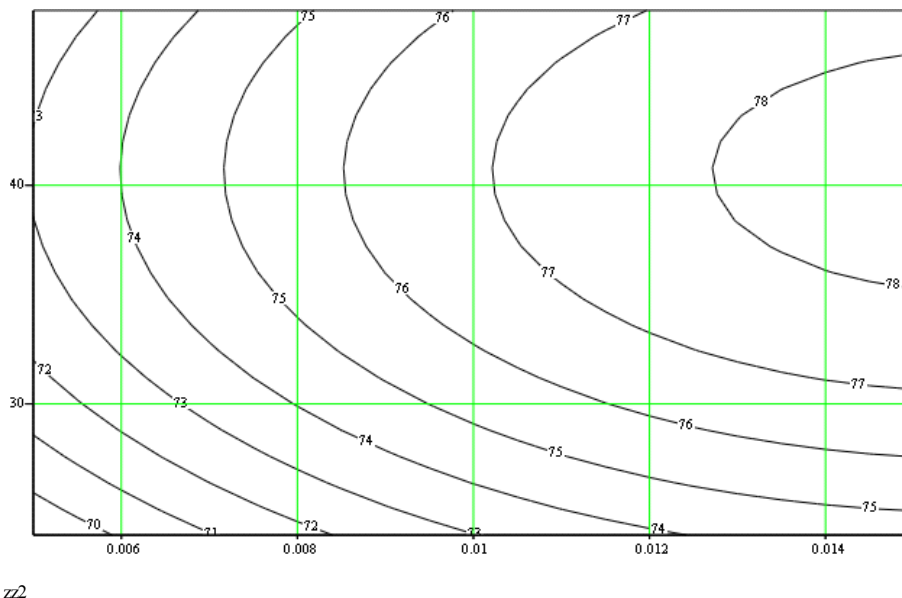


Рис. 2. Лінії рівня узагальненого критерію оптимізації (мальтози) в координатах грибною α -амілази і часу зцукрювання, інші фактори на оптимальному рівні

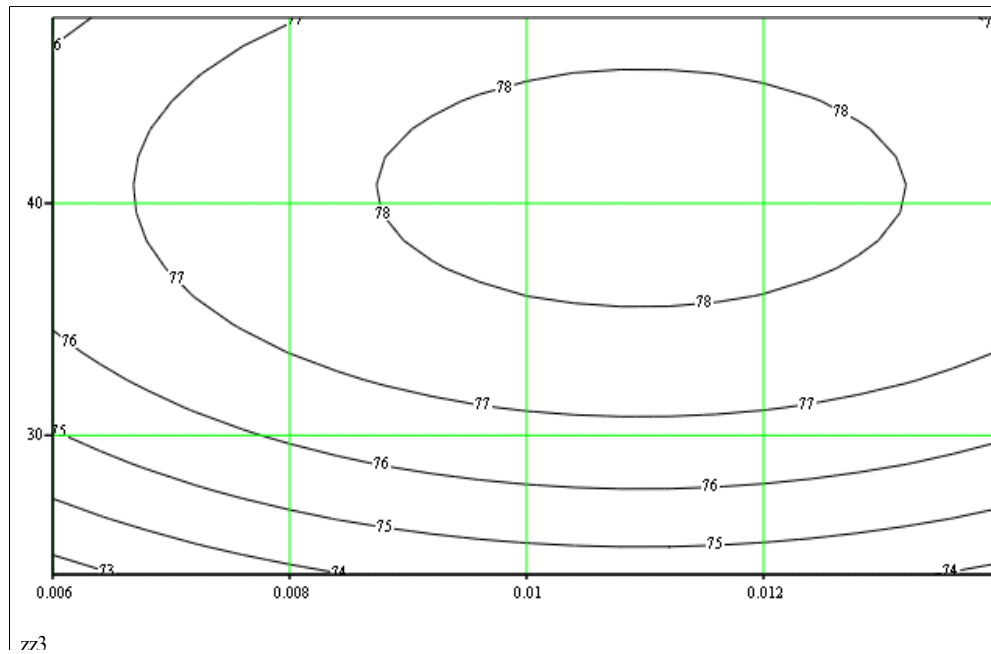


Рис. 3. Лінії рівня узагальненого критерію оптимізації (мальтози) в координатах пуллулазази і часу зцукрювання, інші фактори на оптимальному рівні

За допомогою узагальненого критерію оптимізації було визначено значення оптимальних технологічних параметрів процесу ферментативного зцукрювання крохмалю до мальтози. Для отримання високомальтозної патоки оптимальними параметрами є витрати ферментного препарату β -амілази 1 кг/т СР, пуллулазази – 1,2 кг/т СР; грибної α -амілази – 1,4 кг/т СР, час введення грибної α -амілази – через 6 годин від початку процесу зцукрювання, загальний термін зцукрювання – 41 година.

В результаті повторних досліджень проведених за уточненими оптимальними параметрами було встановлено, що такі параметри процесу зцукрювання крохмалю забезпечують отримання високомальтозних сиропів без ускладнень і узгоджуються із даними, отриманими при проведенні попередніх експериментальних досліджень.

Висновок. Результатом даної роботи є отримання математичної залежності величини накопичення мальтози у гідролізатах крохмалю від витрат ферментних препаратів β -амілази, пуллулазази та грибної α -амілази, місця введення останнього препарату та тривалості процесу.

Крім того, було розроблено узагальнений критерій оптимізації, який дає можливість визначити оптимальні рівні всіх п'яти досліджуваних факторів у процесі зцукрювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. *Аністратенко В.О., Федоров В.Г.* Математичне планування експериментів в АПК. – К.: Вища школа, 1993. – 375 с.
3. *Бондарь А.Г., Статюха Г.А.* Планирование эксперимента в химической технологии. – К.: Вища школа, 1976. – 184 с.
4. *Бондарь Л.А., Дешко И.И.* Физико-химические свойства растворов основного сульфата алюминия // Химия и технология воды. – 1993. – т. 15, № 11-12. – С. 736.
5. *Гордійчук Н.І., Грабовська О.В., Штангеева Н.І., Розборський Є.В.* Вивчення кінетики зцукрювання крохмалю до мальтози шляхом застосування комбінацій ферментних препаратів // Цукор України. – 2006. – № 6. – С. 26-29.
6. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
7. *Мальцев П.М., Емельянова Н.А.* Основы научных исследований. – К.: Вища школа, 1982. – 192 с.
8. *Остапчук Н.В.* Основы математического моделирования процессов пищевых производств. – К.: Вища школа, 1981. – 304 с.
9. *Федоров В.Г., Плесконос А.К.* Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. – Пищ. пром-ть, 1980. – 240 с.