

поліпшує умови прокатки, забезпечує стабільну форму виробів після формування та випікання.

Органолептична оцінка показала, що внесення ФП до рецептурного складу печива забезпечує: рівномірний золотистий колір виробів, покращує структуру виробів, попереджає утворення мікротріщин та пухирців на поверхні, забезпечує стабільну форму.

За результатами досліджень зроблений висновок про ефективність застосування ФП на основі активованої фосфоліпідами бактеріальної протеази для виготовлення листового печива та пікантних крекерів з поліпшеними споживчими властивостями.

Література

1. **Kweon M., Slade L., Levine H.** Development of a Benchtop Baking Method for Chemically Leavened Crackers. I. Identification of a Diagnostic Formula and Procedure // *Cereal chemistry*. – 2011. – №88. – С. 19–24.
2. **Холпер Л.** Как в Европе улучшают качество муки // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2014. – № 11(120). – С. 16–19.
3. **Хмарская Н.** Применение разрыхлителей и ферментов при производстве мучных кондитерских изделий // *Хлебный и кондитерский Бизнес*. – 2016. – №1. – С. 24–26.
4. **Жмурина С., Красильников В., Куткіна М.** Ферментні препарати протеолітичної дії // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2010. – № 6. – С. 40–42.
5. **Кнюпова С.И., Савенкова Т.В.** Технологические аспекты применения комплексного ферментного препарата в производстве крекера // *Микробные биокатализаторы для перерабатывающих отраслей АПК*. – М.: ВНИИПБТ, 2006. – С. 202–207.



УДК 606 : 637.5'64.05 : 637.03

Методи математичного моделювання при виробництві солених м'ясних виробів

Л. БАЛЬ-ПРИЛИПКО, докт.техн. наук

Б. ЛЕОНОВА, Н. СЛОБОДЯНЮК, Е. СТАРКОВА, кандидати техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Представлено результати математичного моделювання процесу зменшення дозування нітриту натрію у рецептурі копчено-вареного балика зі свинини. Визначено оптимальні параметри внесення оптимізованої кількості денітрифікуючих мікроорганізмів у складі бактеріального препарату *Bactoferm CS-300*, що містить нітритредукуючі штамми *Staphylococcus carnosus* та *S. carnosus ssp. utilis*.

Ключові слова: біотехнологія, денітрифікуючі мікроорганізми, солені м'ясні вироби, розсіл, якість, безпечність.

Аннотация. Представлены результаты математического моделирования процесса снижения дозы нитрита натрия в рецептуре копчено-вареного балыка из свинины. Определены оптимальные параметры внесения оптимизированного количества денитрифицирующих микроорганизмов в составе бактериального препарата *Bactoferm CS* содержащего редуцирующие содержание нитрита штаммы *Staphylococcus carnosus* и *S. carnosus ssp. utilis*.

Ключевые слова: биотехнология, денитрифицирующие микроорганизмы, соленые мясные изделия, рассол, качество, безопасность.

Abstract. It's shown results of mathematical modeling of the event of decreasing of doses of sodium nitrite to be used in formulations of boiled and smoked pork cured fillet and optimal parameters of bringing in the products of denitrifying microorganisms. The preparation used in this purpose is the composition of *Bactoferm CS-300*, which contains the bacterial cultures of *Staphylococcus carnosus* and *S. carnosus ssp. utilis*.

Key words: biotechnology, denitrifying microorganisms, salted meat products, brine, quality, safety.

Проблема споживання якісної та безпечної їжі особливо загострилася в Україні в останнє десятиліття, коли на вітчизняний ринок активізувалося постачання всляких імпортованих інгредієнтів, домішок та харчової сировини.

На м'ясопереробних підприємствах впроваджено модернізовані технології виробництва варених ковбас, шинок, варено-копчених, сирокочених ковбас та іншої м'ясної продукції, які передбачають застосовувати біотехнологічних прийомів та операцій, направлених на підвищення якості, безпечності та економічної ефективності виробництва. До них передусім належить використання стартових та біозахисних культур, а також ферментних препаратів. Крім того, для виготовлення м'ясної продукції гарантованої якості та безпечності повинна бути переглянута система контролю якості, яка діє на вітчизняних м'ясокомбінатах та м'ясопереробних заводах. У зв'язку з цим актуальність науково-дослідних робіт, присвячених пошуку нових рішень та будуть сприяти підвищенню якості й безпечності м'ясних виробів як за рахунок створення нових підходів до покращення системи контролю якості м'ясних виробів, так і завдяки застосуванню сучасних біотехнологічних прийомів на всіх етапах технологічного процесу безперечно [1].

Як харчова добавка, нітрит натрію як антиокислювач, забезпечує виробам з м'яса «природний колір», і як антибактеріальний агент, перешкоджає росту бактерій штаму *Clostridium botulinum* – збудника ботулізму – важкої харчової інтоксикації, спричиненої ботулінічним токсином, що призводить до ураження центральної нервової системи.

У процесі утворення нітрозопігментів відзначена істотна роль нітриту у формуванні смако-ароматичних характеристик, наявність антиокислювальної дії на ліпіди, виражений інгібуючий вплив на ріст мікроорганізмів, токсигенних цвілей та продукування ними токсинів. Але пошук способів зменшення у м'ясних виробках залишкових кількостей нітриту натрію за відсутності речовин, здатних його функціонально замінити, має велике практичне значення [2].

Застосування математичного планування експерименту допомагає обрати найбільш раціональні точки факторного простору, у яких необхідно провести дослідження та визначити раціональну послідовність його проведення за істотного зменшення кількості експериментів.

Класичний план експерименту полягав у фіксації величини одного з факторів і послідовній зміні іншого, тобто визначається залежність $y = f(x_1)$ при $x_2 = \text{Const}$. Далі знаходили залежність $y = f(x_2)$ при $x_1 = \text{Const}$.



У поставлених задачах потрібно дослідити ефективність використання нітриту в реакції кольороутворення м'ясних продуктів.

$$Z = f(K, C), \quad (1)$$

де K – кількість внесеного нітриту натрію змінювали у діапазоні від 1,0 г/100 кг до 8,0 г/100 кг та C – кількість дозування бактеріального препарату *Bactoferm CS 300* – у межах від 4,0 г/100 кг до 50,0 г/100 кг) і Z – залишковий вміст нітриту натрію.

Класичний план полягатиме в окремому вивченні впливу обох факторів: K та C . У процесі експерименту встановлюється середнє значення та вивчається зміна залишкового вмісту нітриту натрію при зміні дозування *Bactoferm CS300* від мінімального до максимального значення. Такий план проведення експерименту являє собою суму однофакторних експериментів, у яких послідовно досліджується один фактор, а інші фіксуються незмінними [3].

Побудова математичної моделі досліджуваного процесу полягатиме в знаходженні зв'язків між факторами та функцією відгуку у вигляді залежності

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (2)$$

Математичну модель будували шляхом підбору полінома, який відповідав би експериментальним точкам. Такий поліном описує теоретичну лінію регресії, яка наближена до емпіричної. Ступінь цього наближення залежить від кількості членів полінома, які визначали методом підбору. Ця процедура називається ідентифікацією моделі. Для нас найбільш цінне в такій методиці те, що результати дослідів, що використані для побудови лінійної моделі, використовуються і для побудови більш складних моделей. Поліном для опису моделі із n факторів матиме такий вигляд:

$$y = a_0 + \underbrace{\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i}_{1} + \underbrace{\sum_{i=j} a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j}_{2} + \underbrace{\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i^2 + \dots}_{3}, \quad (3)$$



Отримані параметри повного факторного експерименту дають змогу скласти поліноміальне рівняння та побудувати графічну залежність, яка відобразить результати експерименту (рис. 1)

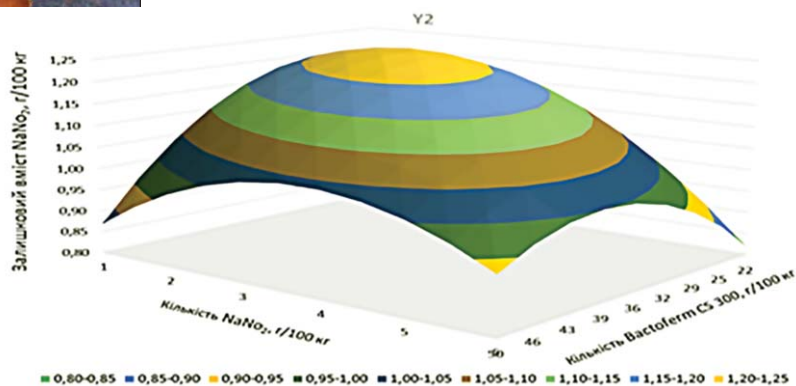


Рис.1. Визначення параметрів поліноміального рівняння Y1 від залишкового вмісту нітриту натрію у копчено-вареному балику зі свинини [3].

Аналогічно було визначено параметри і інших двох рівнянь, які наведені на рисунках 2 та 3, відповідно.

де перші два члени після знаку рівності задають лінійну модель (1), три члени – неповну квадратичну модель (2), чотири члени – квадратичну модель (3) тощо [4].

Оскільки очікується лінійна залежність, то досить використати два рівні для вивчення впливу кожного фактора. Більші значення факторів, наприклад, K2 та C2, називаються верхніми рівнями, менші, K1 та C1 – нижніми рівнями. Кількість дослідів відповідатиме тоді кількості всіх можливих комбінацій рівнів цих факторів, тобто

$$N=k^n=2^2=4, \quad (4)$$

де n – кількість досліджуваних факторів, n = 2; k – кількість рівнів, на яких змінюється кожний фактор, k = 2.

Для двофакторного експерименту поверхня відгуку набуде вигляду площини (рис. 6.4), яка описується виразом:

$$Z=a_0+a_1 \cdot C+a_2 \cdot K, \quad (5)$$

що включає три невідомі: a_0 , a_1 , a_2 . Така модель передбачає, що: впливи кожного із факторів на показник пропорційні до їх значень; впливи кожного із факторів незалежні один

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j; a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} \cdot y_j; a_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} \cdot X_{il} \cdot y_j, \quad (6)$$

від одного, тобто відсутній вплив парної взаємодії цих факторів [5].

Коефіцієнти математичної моделі - полінома визначаються за виразами:

де i, l – номери факторів; j – номер дослідів.

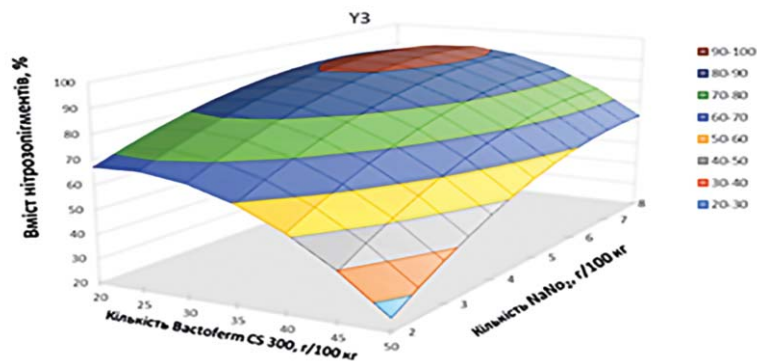


Рис.2. Визначення параметрів поліноміального рівняння Y2 від вмісту нітрозопігментів у копчено-вареному балику зі свинини [3].

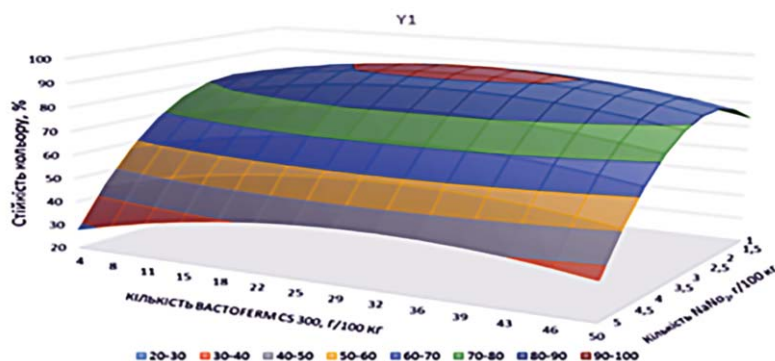


Рис.3. Визначення параметрів поліноміального рівняння Y3 від стійкості кольору у копчено-вареному балику зі свинини [3].

Отримані рівняння регресії описують досліджуваний процес. Знак коефіцієнта при факторі показує напрямок зміни показника ефективності процесу при зростанні його величини. Значення коефіцієнтів вказують на ступінь впливу цих факторів на значення показника ефективності процесу.

З метою встановлення впливу інгредієнтного складу композиції на стабільність забарвлення термооброб-

лених зразків зі свинини були проведені дослідження колірних характеристик, визначення кількості нітрозопігментів і вмісту залишкового нітриту в процесі їх зберігання.

Колір є одним з показників якості та привабливості продукту для споживачів. Тому для цього спочатку було проведено низку експериментів з визначення еталонних колірних координат товарних м'ясних продуктів, щоб надалі порівнювати параметри зміни кольору дослідних зразків. Для аналізу стандартних колориметричних систем було обрано систему RGB (від англ. Red, Green, Blue – червоний, зелений, синій) використовувану для описання способу синтезу кольору, за якого червоне, зелене та синє світло накладаються разом, змішуючись у різноманітні кольори.[6, 7].

Для сканування зразків використовували програму Abbyu Fine Reader. Середнє значення координат готових м'ясних делікатесних виробів становить: R (red) = 203; G (green) = 155; B (blue) = 162, де R, G, B- значення, знайдені на зображенні продукту Далі знайдені координати переводили в систему XYZ, використовуючи спеціальні формули, для джерела освітлення D50 [8, 9]. Отримали середнє значення: X = 175,38; Y = 170,9843; Z = 132,69.

Одержані показники переводили в систему CIELab, та за допомогою них розраховували важливі в даному випадку для характеристики кольору свіжого м'яса: колірний тон (H), насиченість кольору (C) та колірний модуль (E) [10, 11, 12].

У результаті проведених досліджень були одержані наступні середні значення: колірний тон H= 0.572, що свідчить про протікання окисних процесів у продукті, тобто утворення ММ6. Насиченість кольору С при цьому становить 111,3, що свідчить про менш насичений колір продукту. Колірний модуль Е складає 24,7. Наступним етапом було дослідження піддослідних зразків копчено-вареного балику, виготовлених з використанням даних рецептур розсолів. Результати наведені у табл.1.

Одержані результати свідчать, що дослідний зразок

Таблиця 1

Колірні характеристики дослідного та контрольного зразків копчено-вареного балику (n = 3, P ≥ 0,95)

Показник	Зразки	
	контроль	дослід
Інтенсивність кольору (L)	106,56±12,43	107,21±9,58
Червоність (a)	4,5±0,39	6,1±0,71
Redness index (індекс червоності, H)	0,497±0,03	0,767±0,06
Насиченість кольору (C)	108±10,7	115±15,2

виробу характеризується покращеними колірними показниками, порівняно з контрольним. Так, у дослідному балику спостерігався більш інтенсивний (L), насичений (C), червоний (a) колір. Це пояснюється тим, що формування забарвлення м'ясного продукту залежить як від концентрації азоту, так і від редокс-потенціалу та активної кислотності системи. У дослідному зразку колір утворюється в результаті відновлення нітриту нітритредуктазою, яка виробляється бактеріями штаму *S. carnosus*. Впливу на кінетику протікання даного процесу рівня рН не виявлено. Також дія католіту знижує ОВП, чим забезпечуються сприятливі відновні умови [3].

Індекс червоності (H) кількісно характеризує стан м'язового пігменту міоглобіну. У дослідному балику він перевищує аналогічний показник контрольного. Одержані дані свідчать, що чим вище значення H, тим більша кількість відновлених форм міоглобіну M_6 та M_6O_2 , які і впливають на інтенсивність кольору.

М'ясні продукти мають властивість втрачати колір при зберіганні внаслідок окиснення пігментів м'яса киснем повітря і проходження фотохімічних реакцій під дією світла. Стан гемових пігментів при зберіганні м'ясних продуктів найбільш глибоко характеризує кількість нітрозопігментів та стійкість кольору.

Дослідний та контрольний зразок копчено-вареного балика зберігали за штучного освітлення при t = 0-4°C в аеробних умовах. Відповідно до даних, наведених у табл. 2, дослідний зразок балика характеризувався порівняно з контролем більш стійким кольором

Таблиця 2

Динаміка зміни кількості нітрозопігментів і стійкості кольору зразків копчено-вареного балику при зберіганні (n=3, P≥0,95)

Колірна характеристика	Тривалість зберігання, діб									
	1		2		3		4		5	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
Стійкість забарвлення, %	91,25	94,34	83,12	92,46	76,26	90,23	74,31	87,27	65,48	80,47
Загальна кількість нітрозопігментів, %	68,45	77,89	61,48	72,12	55,36	67,25	50,69	62,24	45,17	58,89



протягом усього періоду зберігання. Так, на 5 добу зберігання (резервна доба) стійкість забарвлення дослідного балика перевищувала аналогічний показник контролю.

Дана тенденція, ймовірно, пов'язана не лише зі збільшенням кількості нітрозопігментів, але й з високою відновною активністю м'ясної системи (від'ємним ОВП), яка виступає у якості протектора окисних змін.

Висновки

На основі результатів математичного моделювання та одержаних в експерименті даних обґрунтовано можливість зниження дозування нітриту натрію – до 0,002 кг/ 100 кг у рецептурі цільном'язових солених м'ясних виробів за рахунок додавання у масу оптимізованої кількості (33 г/100кг) нітритредукуючого бактеріального препарату *Vactoferm CS-300*. Застосування його позитивно впливає на формування і стабільність кольору готової продукції у процесі її зберігання, інтенсифікує процеси утворення нітрозопігментів, та сприяє зменшенню рівня потрапляння залишкового нітриту натрію в організм людини.

Література

1. **Баль-Прилипка Л.В.** Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів: монографія / Баль-Прилипка Л. В. – К.: Видавничий центр НУ–БІП України, 2012. – 207 с.
2. **Перспективные технологии XXI века: монография** / [Баль-Прилипка Л. В., Абдуллин И.Ш., Абуталипова Л.Н. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2013. – 162 с.
3. **Старкова Е. Р.** Вдосконалення біотехнології солених м'ясних виробів з використанням багатокомпонентних розсолів: дис. канд. техн. наук: 03.00.20 / Ельвіна Решатівна Старкова. – К., 2017. – 145 с.
4. **Мухачёв В. А.** Планирование и обработка результатов эксперимента: / В. А. Мухачёв. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.
5. **Бунтова Е. В.** Статистическая обработка результатов измерений: / Е. В. Бунтова. – Самара: РИЦ СГСХА, 2011. – 87 с.
6. **Маєвська Т. М.** Розробка методу оцінювання кольору продуктів із сурімі / Т. М. Маєвська, О. С. Віннов // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2012. – № 3(53), Т. 14, Ч. 3. – С. 319–322.
7. **Лисицын А. Б.** Теория и практика переработки мяса / А. Б. Лисицын [и др.]. – М.: ВНИИМП, 2004. – 378 с.
8. **Leon K.** Color measurement in $L^* a^* b^*$ units from RGB digital images / K. Leon [et al.] // Food Research International. – 2006. – №. 39. – Is. 10. – P. 1084–1091.
9. **Pankaj B. P.** Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review / B. P. Pankaj, L. O. Umezuruike, Fahad Al-Julanda Al-Said // Food and bioprocess technology. – 2012. – № 5 – P. 1–25.
10. **Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates: E 313–05.** – West Conshohocken: ASTM International, 2005. – 6 p.
11. **Chaijan M.** Changes of pigments and color in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelli gerkanagurta*) muscle during iced storage / M. Chaijan et al. // Food Chemistry. – 2004. – №. 93. – P. 607– 617.
12. **Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates: E 313–05.** – West Conshohocken: ASTM International, 2005. – 6 p.

