

УДК [663.674.637.044-022.45]:519.23
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/23>

Худенко Н.П.

Одеська національна академія харчових технологій

Трубнікова А.А.

Одеська національна академія харчових технологій

Чабанова О.Б.

Одеська національна академія харчових технологій

Бондар С.М.

Одеська національна академія харчових технологій

Шарахматова Т.Є.

Одеська національна академія харчових технологій

КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ РЕЦЕПТУРНИХ СКЛАДНИКІВ НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО МОРОЗИВА

Сьогодні в Україні і в усьому світі в індустрії харчування актуальні розробки продуктів спеціального призначення. До них належать і молочні безлактозні, і низьколактозні продукти. Якість сумішей для морозива у значній мірі залежить від піноутворювальної здатності, стійкості піни, часу утворення піни, в'язкості тощо. Оцінити результати їх спільної дії можна шляхом застосування статистичних методів аналізу. Велика кількість факторних величин зумовлює необхідність застосовування саме методів множинного кореляційно-регресійного аналізу. Результати експериментів завжди містять деяку похибку, мінімізація якої досягається грамотною статистичною обробкою та подальшим аналізом. При обробці експериментальних даних і побудові математичних моделей часто використовують теорію кореляційно-регресійного аналізу. Робота стосується застосування статистичних методів досліджень для раціоналізації рецептурного складу морозива. Метою дослідження є застосування кореляційно-регресійного аналізу для визначення раціонального співвідношення рецептурних складників низьколактозного морозива. За базові показники було взято результати попередніх фізичних експериментів, коли розробляли безлактозний білковий концентрат маслянки і йогуртну основу із зниженим вмістом лактози та харчові добавки для досягнення кращих функціональних та інших показників морозива. Вхідні дані було зведено до кореляційної матриці, використовуючи MS Office Excel 2013. Матриця дає змогу встановити сили взаємозв'язку між обраними факторними величинами та результативним показником. Наведено масив даних із набором показників щодо вибору раціонального співвідношення безлактозного білкового концентрату маслянки і йогуртної основи для сумішей морозива. Результати множинного кореляційно-регресійного аналізу щодо множинного R, R-квадрата, нормованого R-квадрата, стандартної помилки дали змогу перевірити обрані фізичними експериментами раціональні масові частки основних та додаткових компонентів низьколактозного морозива. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю, стійкістю піни, антиоксидатною активністю і часом піноутворення як головними чинниками при виборі раціонального співвідношення безлактозного білкового концентрату маслянки і йогуртної основи із зниженим вмістом лактози. Графічний матеріал, що представлений у роботі, доводить, що раціональним співвідношенням йогуртної основи і безлактозного білкового концентрату маслянки, що отриманий ультрафільтрацією/діафільтрацією при факторі концентрування $\Phi K=4$ є 40:60, при $\Phi K=5$ – 50:50. Це підтверджують результати фізичного експерименту. Також у роботі підтверджено статистичним шляхом обрані фізичними експериментами раціональні масові частки додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю при підборі раціональної концентрації інуліну та стабілізатору. Для визначення дози харчових добавок використовували метод попарного порівняння зразків із вибором бажаного. Доведено, що кращі результати досягаються при концентраціях імбиру – 0,30%, лимонної кислоти – 0,15%, лактулози – 1,0%. Кореляційно-регресійний аналіз дає змогу досить точно встановити раціональні пропорції складників низьколактозного морозива, що сприяє підтриманню високих функціональних показників та якості продукту.

Ключові слова: кореляційно-регресійний аналіз, статистичний аналіз, раціоналізація рецептури, низьколактозне морозиво.

Постановка проблеми. Нині в Україні і в усьому світі в індустрії харчування актуальні розробки продуктів спеціального призначення [1]. До них належать і молочні безлактозні, і низьколактозні продукти.

Розроблено багато нових рецептур низьколактозного морозива. Молочні білки, жири, цукор, стабілізаційні системи – основні компоненти в рецептурі такого продукту. Навіть незначні зміни якості і співвідношення цих інгредієнтів можуть істотно вплинути на його функціональні властивості [1–7].

Якість сумішей для морозива значною мірою залежить від піноутворювальної здатності, стійкості піни, часу утворення піни, в'язкості тощо.

Оцінити результати їх спільної дії можна застосуванням статистичних методів аналізу. Велика кількість факторних величин зумовлює необхідність застосування саме методів множинного кореляційно-регресійного аналізу. Вони дають змогу виокремлювати найбільш статистично значущі фактори та оцінити взаємозв'язок їх із результативною ознакою. Взаємний зв'язок має вигляд певного числового виразу [8–12].

Мета роботи – застосування кореляційно-регресійного аналізу для визначення раціонального співвідношення рецептурних складників низьколактозного морозива.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі:

– за допомогою кореляційно-регресійного аналізу перевірити правильність обраних фізичними експериментами раціональних співвідношень основних інгредієнтів низьколактозного морозива.

– на основі кореляційно-регресійного аналізу підтвердити правильність обраних фізичними експериментами раціональних масових часток додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи статистичного аналізу вже давно знайшли своє застосування у технології, техніці, економіці тощо [8–11].

Автори в роботі [9] проаналізували статистичні дані щодо причин та наслідків виробничого травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства України. Одержані результати можуть слугувати теоретичною базою для побудови математичної моделі оптимального планування охорони праці на зазначених підприємствах із метою істотного зменшення рівня травматизму.

У роботі [10] описано методи перевірки гіпотез про середні і дисперсії, наявності зв'язку між факторами (кореляційний, дисперсійний аналіз,

аналіз таблиць спряженості), методів класифікації (кластерний і дискримінантний аналіз) і отримання залежностей (регресійний аналіз, аналіз часових рядів).

Робота [11] розглядає використання Excel при виконанні циклу завдань за темами: «Кореляція і регресія», «Множинна регресія», «Непараметричні показники зв'язку», «Аналіз хі-квадрат».

Результати експериментів завжди містять деяку похибку, мінімізація якої досягається грамотною статистичною обробкою та подальшим аналізом. При обробці експериментальних даних і побудові математичних моделей часто використовують теорію кореляційно-регресійного аналізу [8; 11].

Кореляційний аналіз ставить завдання виміряти тісноту зв'язку між змінними й оцінити чинники, які найбільше впливають на результативну ознаку. Регресійний аналіз дозволяє для вибору форми зв'язку і типу моделі для визначення розрахункових значень залежної змінної (результативної ознаки). Методи кореляційного і регресійного аналізу використовуються в комплексі [11].

Для проведення експериментальних досліджень як основної сировини, що отримана в умовах лабораторії ОНАХТ, використовували: рідкий безлактозний білковий концентрат маслянки (ББКМ) та йогуртну основу (ЙО), що складається із суміші маслянки, сухого безлактозного молока та закваски «Йогурт» (VIVO), до складу якої входять культури: *Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* + *Lactobacillus acidophilus* + *Bifidobacterium lactis*).

Додатковими інгредієнтами рецептури суміші морозива обрано: стабілізатор «Ультра текс» ICE1 - 0023 (ПП «Текстра-Віта», Україна), що має такий склад: крохмаль модифікований Е 1442, концентрат сироваткових білків, крохмаль модифікований Е 1450, моно- та дігліцериди жирних кислот Е 471, гуарова камідь Е 412, камідь ріжкового дерева Е 410, препарат інуліну (ТМ «Frutafit IQ», виробництва «Sensus», Roosendal, Нідерланди), препарат лактулози («Fresenius Kabi Company», Італія), лимонна кислота (ТМ «Мрія», Україна), порошок імбиру (ТМ «Еко», Україна).

Технологія отримання функціональної основи – рідкого безлактозного білкового концентрату маслянки та його властивості наведено у попередніх публікаціях [13–17].

Технологія отриманої йогуртної основи із зниженим вмістом лактози наведена у роботі [16].

Таблиця 1 містить основні результати пошуку раціональних рецептур низьколактозного морозива.

Таблиця 1

Рецептури на морозиво низьколактозне

Сировина	Маса сировини, кг	
	Зразок 1	Зразок 2
Безлактозний білковий концентрат із маслянки (ББКМ), отриманий діалільтрацією (DV=7) УФ ретентату при ФК=4 (Ж=1,6 %; СЗМЗ=13,5%)	488,1	-
Безлактозний білковий концентрат з маслянки (ББКМ), отриманий діалільтрацією (DV=7) УФ ретентату при ФК=5 (Ж= 2,0 %; СЗМЗ = 16,94 %)	-	411,5
Інулін (СР=95,8%)	40	40
Лактулоза (СР=99,2%)	10	10
Цукор	130,0	120,0
Стабілізатор	2,0	2,5
Імбир	3	3
Йогуртна основа (ЙО) (Ж=0,54%; СЗМЗ =12,34%)	325,4	411,5
Лимонна кислота	1,5	1,5
Загалом	1000	1000

Таблиця 2

Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

Співвідношення ББКМ/ЙО	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв.	Час утворення піни, сек	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
80:20	22	80	45	355	3,5
70:30	26	95	40	325	4,0
60:40	28	120	30	315	4,5
50:50	24	110	35	305	4,5
40:60	21	85	40	290	5,0
30:70	16	70	43	275	5,0
20:80	12	45	45	260	4,5

Виклад основного матеріалу дослідження.

Основне завдання кореляційного аналізу – визначення тісноти і напряму зв'язку між досліджуваними величинами.

Масив даних із набором показників щодо вибору раціонального співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 та ФК=5 наведено у табл. 2 і 4 відповідно.

Співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 та ФК=5 істотно впливає на піноутворювальну здатність, %, стійкість піни, хв., час утворення піни, сек., антиоксидатну активність, у.о. Зв'язок між цими величинами виявляє кореляційно-регресійний аналіз.

Для більш наочного подання вхідні дані було зведено до кореляційної матриці, використовуючи MS Office Excel 2013, яка використовується для вимірювання сили взаємозв'язку між обраними факторними величинами та результативним показником.

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО наведено у табл. 3 і 6 при ФК=4 та при ФК=5 відповідно.

Розрахунок кореляційної матриці (табл. 2) дає змогу зробити висновок про значну залежність результативного показника та факторних величин.

В результаті побудови кореляційної матриці визначено, що тісний зв'язок між собою мають: піноутворювальна здатність, стійкість піни, антиоксидатна активність і час утворення піни. Залежності досить тісні, бо коефіцієнти кореляції за модулем близько до 1, що, згідно зі шкалою Чеддока, характеризує сильні і дуже сильні зв'язки між цими факторними величинами [8; 11; 12].

У процесі виявлення кореляційно-регресійних зв'язків між результативним показником та факторними величинами було розраховано коефіцієнт множинної регресії, коефіцієнт детермінації, стандартну помилку, що наведено у табл. 4.

Множинний R – коефіцієнт множинної кореляції вказує на наявність (або відсутність) лінійного зв'язку між залежними і незалежною перемінними (за наявності зв'язку прагне до 1). Перевірка значимості коефіцієнта кореляції еквівалентна пере-

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв	Час утворення піни, хв.	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
Піноутворювальна здатність	1,00				
Стійкість піни	0,96	1,00			
Час утворення піни	-0,85	-0,94	1,00		
Антиоксидатна активність	0,97	0,87	-0,72	1,00	
Органолептична оцінка	-0,44	-0,27	0,20	-0,59	1,00

вірці наявності лінійного зв'язку. R-квадрат – коефіцієнт детермінації, що показує долю дисперсії, що пояснюється цією моделлю в загальній дисперсії. Він показує, наскільки модель адекватна. Нормований R-квадрат представляє собою скоригований коефіцієнт детермінації. Стандартна помилка характеризує розкид середніх значень, дорівнює стандартному відхиленню, діленому на квадратний корінь з обсягу вибірки [8; 11; 12].

Таблиця 4

Результати регресійної статистики

Параметр	Значення
Множинний R	0,94
R-квадрат	0,88
Нормований R-квадрат	0,63
Стандартна помилка	0,33
Спостереження	7

Результати регресійної статистики (табл. 4), зокрема, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,94$, що вказує на високу тісноту зв'язку між вхідними змінними та вихідною змінною та коефіцієнт

детермінації $R^2 > 0,7$, вказує на те, що варіація результативної ознаки зумовлена в основному впливом включених у регресійну модель факторів.

Залежності, представлені на рис. 1, свідчать, що раціональне співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 є 60:40.

Кореляційна залежність існує між піноутворювальною здатністю, стійкістю піни, антиоксидатною активністю і часом. Залежність досить тісна, бо коефіцієнт кореляції за модулем близько до 1.

У табл. 6 наведені результати регресійної статистики.

Результати регресійної статистики (табл. 63), зокрема, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,99$, що вказує на високу тісноту зв'язку між вхідними змінними та вихідною змінною, та коефіцієнт детермінації $R^2 > 0,7$ вказує на те, що варіація результативної ознаки зумовлена в основному впливом включених у регресійну модель факторів.

Графічний матеріал, що представлено на рис. 2, доводить, що раціональним співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5 є 50:50. Це підтверджують результати фізичного експерименту [13].

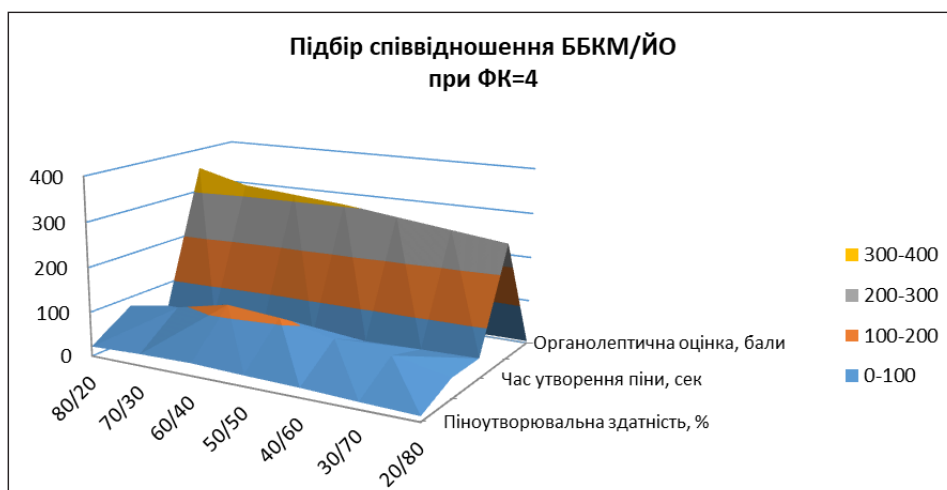


Рис. 1. Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

Таблиця 5

Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5

Співвідношення ББКМ/ЙО	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв.	Час утворення піни, сек	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
80/20	24	85	50	405	3,5
70/30	28	98	45	380	4,0
60/40	30	125	40	362	4,5
50/50	32	130	25	330	5,0
40/60	26	100	35	298	4,0
30/70	20	85	42	285	3,5
20/80	15	50	44	272	3,0

Таблиця 6

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

	Піноутворювальна здатність	Стійкість піни	Час утворення піни	Антиоксидатна активність	Органолептична оцінка, бали
Піноутворювальна здатність	1,00				
Стійкість піни	0,96	1,00			
Час утворення піни	-0,59	-0,65	1,00		
Антиоксидатна активність	0,78	0,66	0,01	1,00	
Органолептична оцінка	-0,68	-0,52	-0,13	-0,96	1,00

Таблиця 7

Результати регресійної статистики

Параметр	Значення
Множинний R	0,99
R-квадрат	0,98
Нормірований R-квадрат	0,94
Стандартна помилка	0,19
Спостереження	7,00

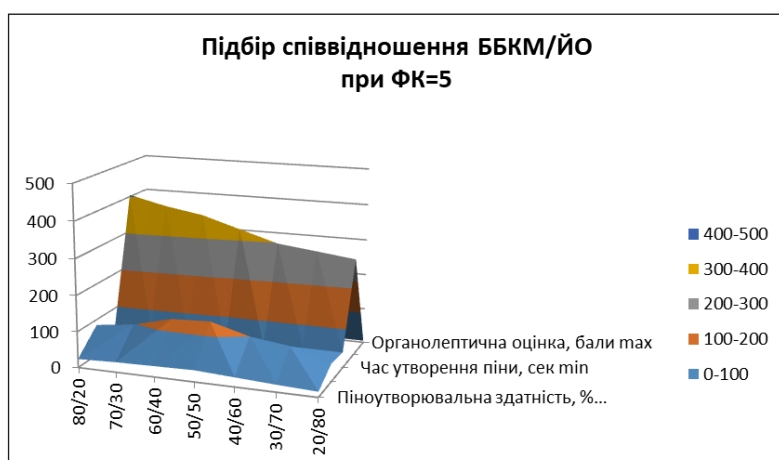


Рис. 2. Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5

Подальший аналіз стосувався підтвердження статистичним шляхом обраних фізичними експериментами раціональних масових часток додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти.

Головними показниками при визначенні раціональних масових часток інуліну та стабілізатора обрали піноутворювальну здатність та в'язкість. Піну отримували шляхом збивання зразків при температурі 20 °C протягом 30 с. Отримані дані аналізу наведено у табл. 8, 11.

Встановлено досить тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю, про що свідчить коефіцієнт кореляції за модулем близький до 1. Дані, що відображені на рис 3, вказують на раціональну концентрацію інуліну, що становить 4%.

Далі наведено основні залежності аналізу щодо ФК=5. Загальна картина для цього випадку була аналогічна попередній.

Раціональна концентрація інуліну 4 % (рис. 4).

Підбір концентрації стабілізатора здійснювали за показниками ПУЗ та в'язкості сумішей.

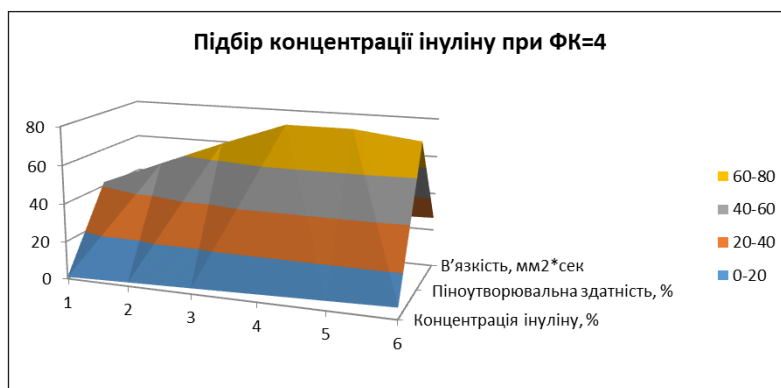


Рис. 3. Підбір концентрації інуліну при ФК=4

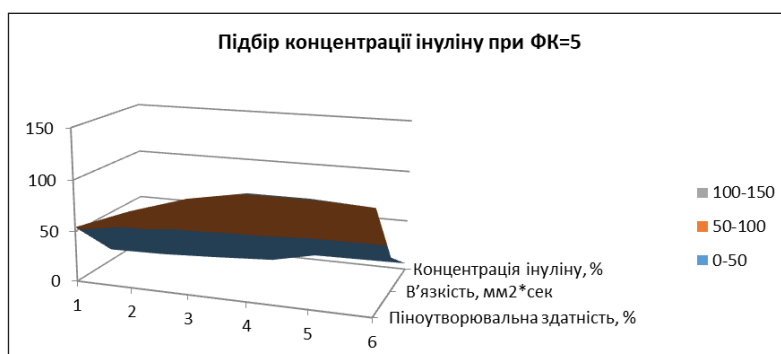


Рис. 4. Підбір концентрації інуліну при ФК=5

Таблиця 10

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації інуліну при ФК=5

	Концентрація інуліну	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація інуліну	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,69	1,00	
В'язкість	0,81	0,96	1,00

Таблиця 8

Підбір концентрації інуліну

Концентрація інуліну, %	при ФК=4		при ФК=5	
	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с
1,0	42	8,134	54	11,104
2,0	55	9,620	75	12,231
3,0	68	11,054	92	15,167
4,0	80	14,126	102	18,678
5,0	80	25,674	102	31,107
6,0	76	26,674	99	33,456

Таблиця 9

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації інуліну при ФК=4

	Концентрація інуліну	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація інуліну	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,81	1,00	
В'язкість	0,94	0,68	1,00

Таблиця 11

Підбір концентрації стабілізатора

Концентрація стабілізатору, %	при ФК=4		при ФК=5	
	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с
0,1	85	15,756	110	20,015
0,15	100	17,127	125	22,156
0,2	140	19,816	149	24,178
0,25	285	36,104	190	29,164
0,3	285	46,104	320	56,124

Таблиця 12

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації стабілізатора при ФК=4

	Концентрація стабілізатору	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація стабілізатору	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,93	1,00	
В'язкість	0,97	0,95	1,00

Таблиця 13

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації стабілізатора при ФК=5

	Концентрація стабілізатору	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація стабілізатору	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,93	1,00	
В'язкість	0,97	0,95	1,00

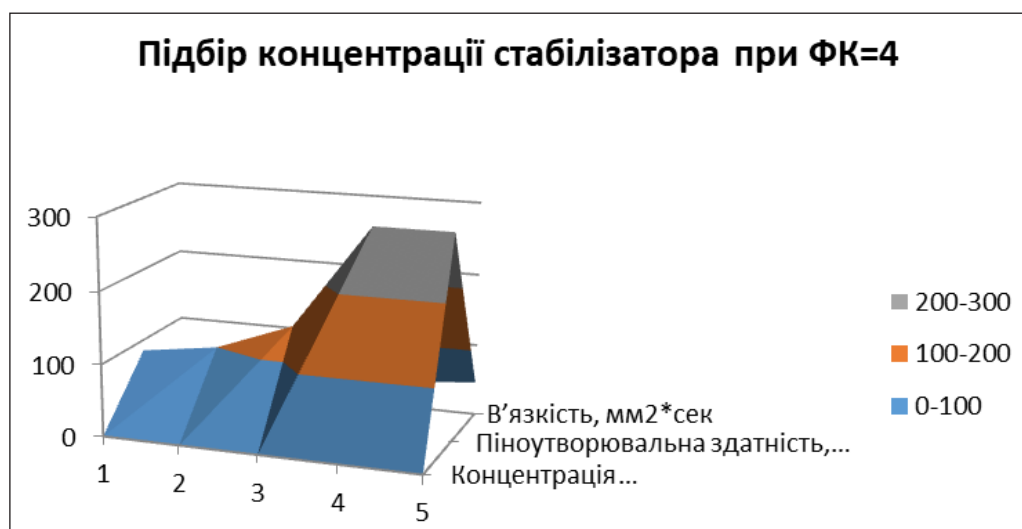


Рис. 5. Підбір концентрації стабілізатора при ФК=4

Як бачимо, кореляційна залежність тут теж досить тісна. Те саме можна сказати і про залежності у разі ФК=5 (табл. 13 та рис. 6).

Для визначення дози харчових добавок використовували метод попарного порівняння зразків із вибором бажаного [48]. Результати досліджень наведено у табл. 14 стосовно імбиру, табл. 15 стосовно лимонної кислоти та табл. 16 стосовно лактулози.

Таблиця 14

Підбір концентрації імбиру (для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація імбиру, %	Метод попарного порівняння зразків, бали
0,15	0,40
0,30	0,50
0,45	0,23

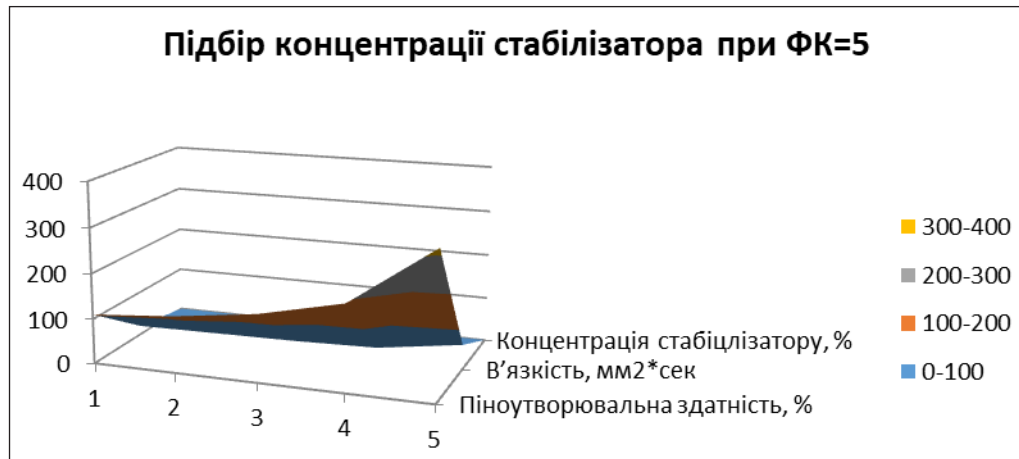


Рис. 6. Підбір концентрації стабілізатору при ФК=5

Таблиця 15
Підбір концентрації лимонної кислоти
(для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація лимонної кислоти, %	Метод попарного порівняння зразків, бали
0,10	0,50
0,15	0,53
0,20	0,23

Таблиця 16
Підбір концентрації лактулози
(для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація лактулози, %	Органолептична оцінка, бали
0,6	3,5
0,8	4,0
1,0	5,0

Дані доводять, що кращі результати досягаються при концентраціях імбиру – 0,30%, лимонної кислоти – 0,15 %, лактулози – 1,0%.

Висновки. В результаті проведення кореляційно-регресійного аналізу при використанні MS

Office Excel 2013 для визначення раціонального співвідношення ББКМ/ЙО для ФК=4 та ФК=5 встановлено тісний зв'язок між вхідними змінними та вихідною змінною (коефіцієнти множинної кореляції в цьому разі $R=0,94$ та $0,99$ відповідно, а коефіцієнти детермінації становлять $R^2>0,7$). Доведено, що раціональним співвідношенням йогуртної основи ЙО і безлактозного білкового концентрата маслянки (ББКМ), що отриманий ультрафільтрацією/діафільтрацією при факторі концентрування ФК=4 є 40:60, при ФК=5 – 50:50, це підтверджують результати фізичного експерименту.

Підтверджено статистичним шляхом обрані фізичними експериментами раціональні масові частки додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю при підборі раціональної концентрації інуліну та стабілізатору.

Кореляційно-регресійний аналіз дає змогу досить точно встановити раціональні пропорції складників низьколактозного морозива, що сприяє підтриманню високих функціональних показників та якості продукту.

Список літератури:

1. Оленев Ю.А. Структурные элементы смесей и мороженого. *Молочная промышленность*. 2003. № 3. С. 53–54.
2. Пищевая химия / [Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А и др.]; под ред. д.т.н., проф. А.П. Нечаева. 3-е изд. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. 640 с.
3. Колмыков М.А., Борко Н.А., Альхамова Г.К., Нургазезова А.Н., Канарейкина С.Г. Компьютерная оптимизация рецептуры молочного мороженого. *Молодой ученый*. 2016. № 1. С. 165–169. URL: <https://moluch.ru/archive/105/25012/> (дата обращения: 17.11.2018).
4. Абугов М.Б., Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Использование методики экспертиз для оценки влияния на вкусовые показатели мороженого факторов технологического процесса. *Известия СПбГУНиПТ*. 2000. № 1.
5. Лисин П.А. Компьютерные технологии в рецептурных расчетах молочных продуктов. Москва : ДеЛи принт, 2007. 102 с.

6. Эрл М., Эрл Р. Примеры разработки пищевых продуктов. Анализ кейсов. Москва : Профессия, 2010. 400 с.
7. Трухачев В.И., Молочников В.В., Орлова Т.А. Концентраты белков молока: выделение и применение. Ставрополь : Изд-во «Агрус», 2009. 152 с.
8. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 2. / Редкол.: С.В. Мочерний (відп. ред.) та ін. Київ : Видавничий центр «Академія», 2000. 864 с.
9. Гогіташвілі Г.Г., Степанишин В.М., Тисовський Л.О. Аналіз статистичних даних щодо причин та наслідків виробничого травматизму працівників. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. 2011. № 707. С. 42–45.
10. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. МОРИОН, 2001. 408 с.
11. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учебн. пособие. Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. 102 с.
12. Константинова А.О. Применение корреляционно-регрессионного анализа для прогнозирования экономического развития предприятия (на примере ОАО «новороссийский комбинат хлебопродуктов»). *Молодежный научный форум: Общественные и экономические науки*: электр. сб. ст. по мат. VII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 7(7). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/7\(7\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/7(7).pdf) (дата обращения: 28.01.2019)
13. Grounding and Development of Low-Lactose Biologically Active Milk Ice Cream Formula / A. Trubnikova, O. Chabanova, T. Sharahmatova, S. Bondar, S. Vikul. *Path of Science: International Electronic Scientific. Traektoriâ Nauki= Path of Science*. 2018. Vol. 4, No 9. P. 3001–3021. DOI: 10.22178/pos.38-7 <http://pathofscience.org/index.php/ps/article/view/544>.
14. Bondar S., Trubnikova A., Chabanova O. Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2018. Т. 20. №. 85. С. 62–69.
15. Bondar S. et al. Analysis of a new diafiltration method of cleaning buttermilk from lactose with mineral composition preserved / S. Bondar, O. Chabanova, T. Sharakhmatova, A. Trubnikova. *Харчова наука та технологія*. 2018. Т. 12. № 1. С. 90–98.
16. Трубнікова А.А. Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива / А.А. Трубнікова, Т.Є. Шарахматова, К.О. Мамінтова, О.С. Цупра. *Вісник НТУ «ХПІ»*, *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 9 (1285). С. 243–255.
17. Трубнікова А.А. Розробка технології низьколактозного морозива на основі безлактозного концентрату маслянки / Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М., Савчак Є.М. *Вісник НТУ «ХПІ»*, *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 45 (1321). С. 214–227.

КОРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИВНИЙ АНАЛІЗ РЕЦЕПТУРНИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НИЗКОЛАКТОЗНОГО МОРОЖЕНОГО

Сегодня в Украине и во всем мире в индустрии питания актуальны разработки продуктов специального назначения. К ним относятся и молочные безлактозные, и низколактозные продукты. Качество смесей для мороженого в значительной степени зависит от пенообразующей способности, устойчивости пены, времени образования пены, вязкости и тому подобного. Оценить результаты их совместного действия возможно путем применения статистических методов анализа. Большое количество факторных величин обуславливает необходимость применения именно методов множественного корреляционно-регрессионного анализа. Результаты экспериментов всегда содержат некоторую погрешность, минимизация которой достигается грамотной статистической обработкой и последующим анализом. При обработке экспериментальных данных и построении математических моделей часто используют теорию корреляционно-регрессионного анализа. Работа касается применения статистических методов исследований для рационализации рецептурного состава мороженого. Целью исследования является применение корреляционно-регрессионного анализа для определения рационального соотношения рецептурных составляющих низколактозного мороженого. Базовыми показателями были взяты результаты предыдущих физических экспериментов, когда разрабатывали безлактозный белковый концентрат пахты и йогуртную основу с пониженным содержанием лактозы, и пищевые добавки для достижения лучших функциональных и других показателей мороженого. Входные данные сведены к корреляционной матрице, используя MS Office Excel 2013. Матрица позволяет установить силы взаимосвязи между выбранными факторными величинами и результативным показателем. Приведен массив данных с набором показателей по выбору рационального соотношения безлактозного белкового концентрата пахты и йогуртной основы для смесей мороженого. Результаты множествен-

ного корреляционно-регрессионного анализа, касаемо множественного R , R -квадрата, нормированного R -квадрата, стандартной ошибки позволили проверить выбранные физическими экспериментами рациональные массовые доли основных и дополнительных компонентов низколактозного мороженого. Установлена тесная корреляционная зависимость между пенообразующей способностью, устойчивостью пены, антиоксидантной активностью и временем пенообразования как главными факторами при выборе рационального соотношения безлактозного белкового концентрата пахты и йогуртной основы с пониженным содержанием лактозы. Графический материал, представленный в работе, доказывает, что рациональным соотношением йогуртной основы и безлактозного белкового концентрата пахты, что получен ультрафильтрацией / диафильтрацией при факторе концентрирования $ФК = 4$ является 40:60, при $ФК = 5$ – 50:50. Это подтверждают результаты физического эксперимента. Также в работе подтверждены статистическим путем выбранные физическими экспериментами рациональные массовые доли дополнительных ингредиентов низколактозного мороженого: инулина, стабилизатора, имбиря, лимонной кислоты. Установлена тесная корреляционная зависимость между пенообразующей способностью и вязкостью при подборе рациональной концентрации инулина и стабилизатора. Для определения дозы пищевых добавок использовали метод парного сравнения образцов с выбором желаемого. Доказано, что лучшие результаты достигаются при концентрациях имбиря – 0,30%, лимонной кислоты – 0,15%, лактулозы – 1,0%. Корреляционно-регрессионный анализ позволяет достаточно точно установить рациональные пропорции составляющих низколактозного мороженого, способствует поддержанию высоких функциональных показателей и качества продукта.

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, статистический анализ, рационализация рецептуры, низколактозное мороженое.

CORRELATION AND REGRESSIONAL ANALYSIS OF RECEPTORAL COMPLEXES OF LOW-LACTOSE ICE CREAM

Today in Ukraine and in the world in the food industry are the actual development of special purpose products. These include free-lactose milk products. The quality of the mixtures for ice cream depends to a large extent on the foaming ability, foam stability, foam formation time, viscosity, etc. Evaluate the results of their joint action possible using statistical methods of analysis. A large number of factor variables necessitates the use of methods of multiple correlation-regression analysis. The results of experiments always contain some error; the minimization of which is achieved by competent statistical processing and further analysis. When processing experimental data and constructing mathematical models, the theory of correlation-regression analysis is often used. The work concerns the application of statistical research methods to rationalize the formulation composition of ice cream. The aim of the study is to apply a correlation-regression analysis to determine the rational ratio of recipe components of low-lactose ice cream. The results of previous physical experiments, when developing the free-lactose protein concentrate of the buttermilk and yogurt base with reduced lactose content and dietary supplements, the indicators were taken as the basis for achieving the best functional and other indicators of ice cream. The incoming data was reduced to the correlation matrix using MS Office Excel 2013. The matrix allows you to establish the relationship strength between the selected factor values and the resultant indicator. An array of data is provided with a set of indicators for choosing the rational ratio of the free-lactose protein concentrate of the buttermilk and the yoghurt base for ice cream mixtures. The results of multiple correlation-regression analysis of multiple R , R -square, normalized R -square, standard error allowed us to check the rational mass fractions of the basic and additional components of low-lactose ice-cream selected by physical experiments. There is a close correlation between the foaming ability, foam resistance, antioxidant activity and the time of foam formation as the main factors in choosing the rational ratio of the free-lactose protein concentrate and the yoghurt base with a reduced content of lactose. The graphic material presented in the work proves that the rational ratio of the yogurt base and the free-lactose protein concentrate of the buttermilk obtained by ultrafiltration / diafiltration at a concentration factor of $FC = 4$ is 40:60, with $FC = 5$ – 50:50. This is confirmed by the results of the physical experiment. In the work, the rational mass fractions of the additional ingredients of low-lactose ice-cream: inulin, stabilizer, ginger, and citric acid were confirmed statistically by the physical experiments. A close correlation between the foam forming ability and the viscosity in determining the rational concentration of inulin and stabilizer is established. To determine the dose of nutritional supplements, we used the method of pairwise comparison of samples with the choice of the desired. It is proved that the best results are achieved at concentrations of ginger – 0,30%, citric acid – 0,15%, lactulose – 1,0%. Correlation and regression analysis allows to accurately establish rational proportions of components of low-lactose ice cream, which helps to maintain high functional characteristics and product quality.

Key words: correlation-regression analysis, statistical analysis, Rationalization of the formulation, low-lactose ice cream.