

**Тетяна МАЄВСЬКА,
Олексій ВІННОВ**

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ БІЛКОВИХ РЕЧОВИН ІЗ РИБНОЇ МАСИ

Отримано математичну модель (рівняння регресії), яка адекватно описує процес промивання водою сировини із дрібного коропа. Визначено ступінь впливу температури води, гідромодуля, тривалості та кількості циклів промивання на концентрацію білкових речовин у промивній рідині та встановлено оптимальні режими технологічного процесу.

Ключові слова: промивання, рибна білкова маса, факторний експеримент, рівняння регресії.

Маевская Т., Виннов А. Оптимизация процесса извлечения белковых веществ из рыбной массы. Получена математическая модель (уравнение регрессии), адекватно описывающая процесс промывания водой сырья из мелкого карпа. Определена степень влияния температуры воды, гидромодуля, продолжительности и количество циклов промывания на концентрацию белковых веществ в промывочной жидкости и установлены оптимальные режимы технологического процесса.

Ключевые слова: промывка, рыбная белковая масса, факторный эксперимент, уравнение регрессии.

Постановка проблеми. З огляду на скорочення вилову морських і океанічних видів гідробіонтів, комплексне й раціональне використання продукції прісноводної аквакультури є одним із найважливіших завдань для рибопереробної галузі України.

Світовий досвід виробництва продуктів із дрібної прісноводної сировини низької товарної цінності доводить економічну доцільність її переробки на стабілізовані білкові маси типу "сурімі" та отримання широкого асортименту виробів із них. На сьогодні відсутні ефективні ресурсозберігаючі технології виробництва цих продуктів із дрібних коропових риб, тому пошук нових шляхів отримання та стабілізації білкових мас із дрібної прісноводної риби є актуальним.

Промивання рибних мас – одна з найважливіших технологічних операцій, оскільки саме від неї залежить якість видалення саркоплазматичних білків і гелеутворювальна здатність сурімі. Більшість дослідників [1–5] серед найвпливовіших факторів під час промивання виділяють тривалість процесу, температуру промивного розчину, співвідношення вода/рибна сировина (гідромодуль), кількість промивань та інтенсивність перемішування. Наприклад, збільшення часу промивання від 600 до 900 с значно погіршує консистенцію гелю, а надмірна кількість промивань призводить до часткового вилучення міофібрилярних білків і зайвих витрат промивної рідини [6]. Проте чіткі відомості щодо параметрів процесу промивання мас із коропових риб у доступній літературі відсутні.

Мета дослідження – визначити оптимальні технологічні параметри процесу промивання стабілізованих рибних білкових мас на основі даних повного факторного експерименту (ПФЕ). Для цього необхідно отримати математичну модель (рівняння регресії), яка адекватно описуватиме видалення азотистих речовин під час промивання подрібненої тканини коропа водою; встановити ступінь впливу кожного із входних параметрів на остаточний результат; визначити умови отримання максимального значення критерію оптимізації.

Матеріали та методи. Застосування ПФЕ дає змогу реалізувати всі можливі неповторювані комбінації усіх рівнів факторних ознак процесу [7]. Для вивчення процесу стабілізації сурімі цей метод уможливує оцінити вплив не тільки окремих факторних ознак, а й їх сукупності, зменшити витрати на проведення експерименту та гарантує отримання регресійної моделі, яка адекватно описує локальний відрізок факторного простору в зазначеному процесі.

Як сировину використано коропа звичайний (*Cyprinus carpio*), малої розмірної групи, масою до 350 г, розібраний на знешкірене філе та подрібнений на вовчку (діаметр отворів решітки – 3 мм). Отриманий рибний напівфабрикат промито в режимах відповідно до матриці повного чотирифакторного експерименту (табл. 1). За критерій оптимізації обрано кількість білкових речовин у розчині після промивання.

Таблиця 1

Матриця повного факторного експерименту

Номер досліджу	Кодовані				Натуральні				Відгук, Y, г/г
	значення факторів								
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	-1	-1	-1	-1	5	2	0.5	1	0.001421
2	1	-1	-1	-1	15	2	0.5	1	0.038929
3	-1	1	-1	-1	5	12	0.5	1	0.029707
4	1	1	-1	-1	15	12	0.5	1	0.023152
5	-1	-1	1	-1	5	2	6	1	0.001780
6	1	-1	1	-1	15	2	6	1	0.012762
7	-1	1	1	-1	5	12	6	1	0.005318
8	1	1	1	-1	15	12	6	1	0.005326
9	-1	-1	-1	1	5	2	0.5	4	0.000534
10	1	-1	-1	1	15	2	0.5	4	0.001071
11	-1	1	-1	1	5	12	0.5	4	0.001337
12	1	1	-1	1	15	12	0.5	4	0.002696
13	-1	-1	1	1	5	2	6	4	0.004234
14	1	-1	1	1	15	2	6	4	0.005255
15	-1	1	1	1	5	12	6	4	0.004210
16	1	1	1	1	15	12	6	4	0.004195

Промиті рибні білкові маси центрифуговано при 8000 об/хв (або 133.33 об/с) протягом 900 с для відокремлення промивної рідини від маси. Кількість азотистих речовин у промивній рідині визначено за ГОСТ 7636 методом К'ельдаля, застосовуючи автоматичний аналізатор *Velp Scientifica*.

Результати дослідження. Нижній та верхній рівні варіювання факторів прийнято на основі попередніх результатів власних досліджень (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри повного факторного експерименту

Рівні варіювання	Позначення	Кодовані параметри			
		температура	тривалість промивання	гідромодуль	кількість промивань
		$x_1, ^\circ\text{C}$	$x_2, \text{с}$	x_3	x_4
Верхній рівень	+1	15.00	720.00	6.00	4.00
Нижній рівень	-1	5.00	120.00	0.50	1.00
Основний рівень	x_0	10.00	420.00	3.25	2.50
Крок варіювання	λ	5.00	300.00	2.75	1.50

Математичною обробкою результатів експерименту отримано достовірне й адекватне рівняння регресії – у кодованому вигляді:

$$Y = 0.00887 + 0.002803 \cdot x_1 - 0.00349 \cdot x_3 - 0.00593 \cdot x_4 - 0.00345 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.00244 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0.005017 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0.001952 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0.003426 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0.00218 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4, \quad (1)$$

у натуральному вигляді:

$$Y = -0.012656 + 0.005139 \cdot x_1 + 0.005361 \cdot x_2 - 0.000614 \cdot x_3 + 0.006521 \cdot x_4 - 0.000538 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.000002 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0.001443 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0.000528 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0.001596 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0.000254 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0.000053 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0.000160 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0.00021 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0.00021 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4, \quad (2)$$

де Y – кількість білкових речовин у промивній рідині, г/г;

x_1 – температура промивної рідини, $^\circ\text{C}$;

x_2 – тривалість промивання, с;

x_3 – гідромодуль;

x_4 – кількість промивань.

Ступінь впливу кожного із вхідних чинників на якість промивання рибних мас оцінено в прийнятому факторному просторі. Найбільший вплив має кратність промивань, що підтверджується абсолютним значенням відповідного коефіцієнта регресії (1). Тривалість процесу промивання окремо від інших факторів не має впливу на вихідний параметр. Для збільшення значення критерію оптимізації необхідно підвищувати температуру, зменшувати гідромодуль і кратність промивань. Аналіз впливу взаємодії факторів показує, що збільшенню відгуку також сприятиме: одночасне збільшення (зменшення) гідромодулю та

кратності промивання; одночасна зміна в протилежних напрямках температури рідини та тривалості операції, температури та кількості промивань. Парне збільшення двох факторів із одночасним зменшенням третього спричинить такий самий ефект у разі взаємодії температури, тривалості, гідромодуля або температури, тривалості, кратності промивання. Одночасна взаємодія всіх наведених факторів має негативний вплив на значення вихідного параметру. Для зменшення такого впливу необхідно зменшити (збільшити) значення одного із факторів.

Рівняння регресії в натуральному вигляді (2) уможливило прогнозування результатів дослідження (значення вихідного параметру) за будь-яких натуральних значень факторів у дослідній області факторного простору. Саме тому на основі рівняння регресії (2) вирішено задачу оптимізації з використанням надбудови табличного процесора *MS Excel* "Пошук рішення" (*Excel Solver*). За обмеження змінних прийнято нижній і верхній значення факторів, а за цільову функцію – рівняння (2).

У результаті аналізу встановлено, що 0.03956 г/г (експериментально 0.038929 г/г) водорозчинних білкових речовин вимивається із сировини під час однократного промивання водою за таких оптимальних параметрів: температура води – 15°C, тривалість промивання – 120 с, гідромодуль – 0.5. Визначені параметри не суперечать результатам попередніх досліджень.

Для встановлення необхідної та достатньої кількості промивань розглянуто поверхні відгуків Y , котрі відображають його залежність від вхідних факторів, побудовані на основі рівняння регресії в натуральному вигляді за сталого значення температури (15 °C) для різної кількості промивань (рис. 1).

Дані просторових графічних моделей найповніше ілюструють дослідний процес і свідчать, що під час четвертого промивання за вказаних вище оптимальних параметрів екстрагується найменша кількість білкових речовин. Це підтверджує найвищу ефективність екстрагування водорозчинних компонентів під час перших трьох промивань.

За значеннями піків (див. рис. 1 а–в) і нижньої точки (див. рис. 1 г) побудованих поверхонь здійснено інтерполяцію даних через апроксимування точок лінійною залежністю (рис. 2). Знайдену функцію диференційовано на заданому відрізку. Перша похідна характеризує швидкість зміни функції – кількість білкових речовин у промивній рідині. Аналіз її засвідчив, що швидкість процесу екстрагування білкових речовин в інтервалі від першого до четвертого промивання постійна (– 0.0127), а прискорення процесу (друга похідна) дорівнює нулю. У результаті четвертого промивання екстрагується незначна кількість речовин, тому його можна вважати зайвим.

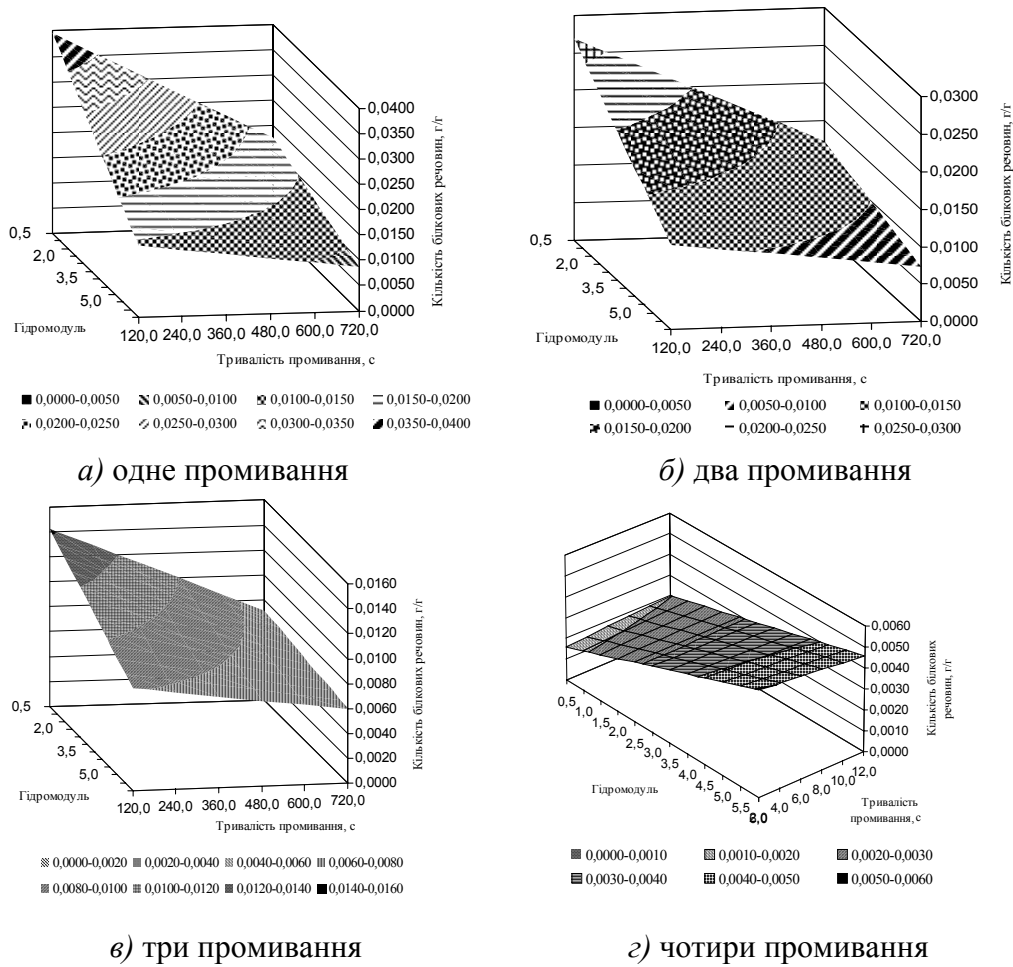


Рис. 1. Динаміка накопичення білкових речовин у промивній рідині

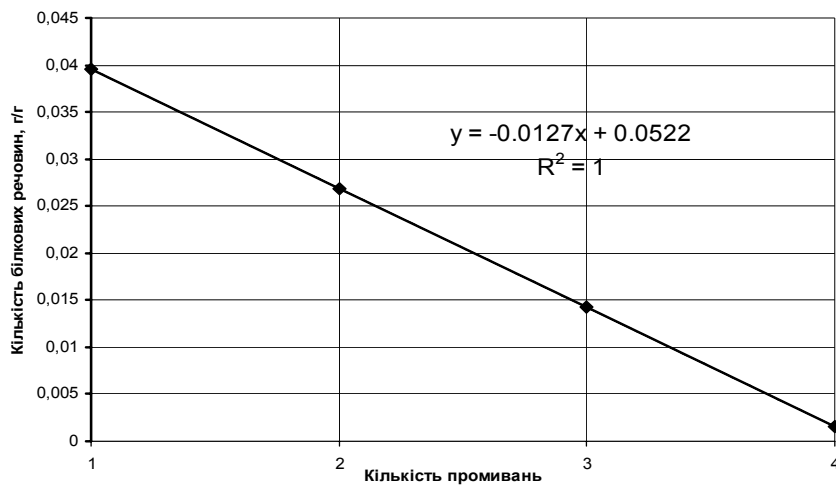


Рис. 2. Залежність кількості білкових речовин у воді від кількості промивань

Отже, вважаємо, що три промивання водою є достатнім для ефективного вилучення водорозчинних компонентів із білкової рибної маси.

Висновки. Доведено ефективність використання повного факторного експерименту для моделювання процесу промивання рибних білкових мас водою. На основі експериментальних даних отримано модель (рівняння регресії), котра адекватно описує процес промивання водою білкової маси із коропа. Встановлено, що найбільш позитивний вплив на критерій оптимізації має температура води, найбільш негативний – кратність промивання, в меншій мірі – гідромодуль, тривалість промивання впливу не здійснює.

Визначено, що найбільша кількість водорозчинних білкових речовин екстрагується під час першого промивання водою за температури 15 °С протягом 120 с при співвідношенні промивної рідини й рибної маси 0.5 : 1. Розрахунками за методами диференціального аналізу підтверджено достатність триразового промивання за цих параметрів. Зазначені режими можуть бути рекомендовані для промивання з метою отримання стабілізованої білкової маси з коропових риб.

У подальшій роботі доцільно визначити вплив дослідних параметрів на гелеутворювальну здатність рибних білкових мас.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Amiza M. A.* Effect of Washing Cycle and Salt Addition on the Properties of Gel from Silver Catfish (*Pangasius Sp.*) Surimi / M. A. Amiza and K. Nur Ain // UMT 11th International Annual Symposium on Sustainability Science and Management, 09th–11th July 2012, Terengganu, Malaysia. — 2012. — P. 485—490.
2. *Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi* / Sang-Keun Jin <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407000295> — aff1, Il-Suk Kima, Su-Jung Kim, Ki-Jong Jeonga, Yeung-Joon Choi, Sun-Jin Hur // Journal of Food Engineering. — 2007. — Vol. 81, N 3. — P. 618—623.
3. *Chemical changes in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) minced muscle during frozen storage: Effect of a previous washing process* / Afsaneh Asgharzadeh, Bahareh Shabanpour, Santiago P. Aubourg, Hedayat Hosseini // Grasas y Aceites. — 2010. — Vol. 61, N 1. — P. 95—101.
4. *Park J. W.* Surimi and Surimi Seafood, Second Edition / J. W. Park // CRC Press, Oregon State University, Astoria, USA. — 2005, March 29. — 960 p.
5. *Jafarpour Khozaghi S.* Quality characteristics of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi and kamaboko and the role of sarcaoplasmic proteins / Khozaghi S. Jafarpour // RMIT University School of Applied Sciences. — 2008. — 216 p.
6. *Effect of Washing and Salt Concentration on the Gel Forming Ability of Two Tropical Fish Species* / Mohammed Ismail Hossain, Muhammad Mostafa Kamal, Fatema Hoque Shikha, Md. Shanidul Hoque // Int. J. of Agriculture and Biology. — 2004. — Vol. 6, N 5. — P. 762—766.
7. *Семенов С. А.* Планирование эксперимента в химии и химической технологии : уч.-метод. пособ. / С. А. Семенов. — М. : ИПЦ МИТХТ, 2001. — 93 с.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2013.

Maevskaya T., Vinnov A. *Fish protein mass water washing process optimization.*

Background. The processing raw shell freshwater low values commodity for protein mass type "surimi" actuality is substantiated.

The most influential factors at mince raw fish was set at the published data.

Was specified the study aim - stabilized fish protein mass optimum washing process parameters determination based at full factorial experiment.

Material and methods. In this part in details described the carp protein mass samples technological stages preparation.

The full factorial experiment matrix submitted under which was performed samples water washing.

Chosen optimization criterion – the proteins amount in solution after washing and described their analysis method.

Results. Presents the regression equation, which reliably and adequately describes the process carp protein mass water washing within the selected factors experiment borders, which are: temperature – 5–15 °C, the washing duration – 120–720 c, hydraulic module 0.5–6.0, the number of washings – 1–4.

Using the regression coefficients values in the coded equation assessed each of the input factors impact on the quality of fish protein masses washing adopted in the factor space.

According to the regression equation in physical terms predicted output parameter value in the study area input factors.

Was solved the optimization problem, which set the maximum proteins amount in the wash solution. Presented reviews surface for different number of washings.

In extreme points of spatial graphic models were made data interpolation, which gave an opportunity to assess the rate extracting proteins process changing during washing of minced raw fish.

Conclusion. Presents recommended washing process regime to obtain stabilized carp protein mass. Specified gelling ability fish protein masses promising research, washed in pre-set modes.

Key words: washing, fish protein mass, factorial design, regression equation.

REFERENCES

1. *Amiza M. A.* Effect of Washing Cycle and Salt Addition on the Properties of Gel from Silver Catfish (*Pangasius Sp.*) Surimi / M. A. Amiza and K. Nur Ain // UMT 11th International Annual Symposium on Sustainability Science and Management, 09th–11th July 2012, Terengganu, Malaysia. — 2012. — P. 485—490.
2. *Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi* / Sang-Keun Jin <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407000295> — aff1, Il-Suk Kima, Su-Jung Kim, Ki-Jong Jeonga, Yeung-Joon Choi, Sun-Jin Hur // Journal of Food Engineering. — 2007. — Vol. 81, N 3. — P. 618—623.
3. *Chemical changes in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) minced muscle during frozen storage: Effect of a previous washing process* / Afsaneh Asgharzadeh, Bahareh Shabanpour, Santiago P. Aubourg, Hedayat Hosseini // Grasas y Aceites. — 2010. — Vol. 61, N 1. — P. 95—101.
4. *Park J. W.* Surimi and Surimi Seafood, Second Edition / J. W. Park // CRC Press, Oregon State University, Astoria, USA. — 2005, March 29. — 960 p.
5. *Jafarpour Khozaghi S.* Quality characteristics of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi and kamaboko and the role of sarcooplasmic proteins / Khozaghi S. Jafarpour // RMIT University School of Applied Sciences. — 2008. — 216 p.
6. *Effect of Washing and Salt Concentration on the Gel Forming Ability of Two Tropical Fish Species* / Mohammed Ismail Hossain, Muhammad Mostafa Kamal, Fatema Hoque Shikha, Md. Shanidul Hoque // Int. J. of Agriculture and Biology. — 2004. — Vol. 6, N 5. — P. 762—766.
7. *Semenov S. A.* Planirovanie jeksperimenta v himii i himicheskoj tehnologii : uch.-metod. posob. / S. A. Semenov. — M. : IPC MITHT, 2001. — 93 s.