

*А. А. Менчинська, здобувач,
Т.М. Маєвська, к.т.н,
Т.К. Лебська, д. т. н, проф.,*

Національний університет біоресурсів та природокористування України,
Київський національний торговельно-економічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ СОЛІННЯ ІКРИ ТОВСТОЛОБА НА ОСНОВІ ПОКАЗНИКА АКТИВНОСТІ ВОДИ

Методом математичного моделювання визначено оптимальні умови технологічного процесу соління ікри товстолобу. Математичні моделі отримували методом повного факторного експерименту на основі композиційного ортогонального плану другого порядку для двох факторів: концентрації кухонної солі та цукру. Виходячи з аналізу основних параметрів процесу, були визначені варіативні чинники плану досліджень: концентрація солі у діапазоні від 2 до 10 %, концентрація цукру у межах від 0,5 до 1,5 %. В якості параметра оптимізації використано показник активності води. На основі аналізу карти Парето, встановлено, що максимальним достовірним і значущим ефектом являється лінійний член концентрація солі. В результаті розрахунку коефіцієнтів регресії одержали математичну модель впливу концентрації солі та цукру на показник активності води. Для зазначеної функції знайдено критичні точки: концентрація солі 4 %, концентрація цукру 1 %. На основі рівняння регресії побудовано поверхню відгуку вихідного параметру, що відображає його залежність від вхідних факторів. Аналізуючи контурний графік встановлено, що раціональними параметрами є концентрації солі 10,8 %, а цукру 1 %, за яких показник активності води складає менше 0,86.

Ключові слова: ікра, соління, сіль, цукор, активність води, математична модель, рівняння регресії, карта Парето.

*A. Menchinska, Predoc. Assoc.,
T. Mayevska, Ph. D., Technics,
T. Lebska, D. Sc., Technics, prof.*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv National University of Trade and Economics

OPTIMIZATION OF SILVER CARP ROE SALTING CONDITIONS BASING ON WATER ACTIVITY PARAMETER

Optimal conditions for the technological process of silver carp roe salting using the mathematical modeling method were determined. We obtained the mathematical models by the method of full factorial experiment on the base of compositional orthogonal design of second-order for 2 factors: table salt concentration and sugar concentration. According to the analysis of the main parameters of a process we detected variable-based factors of research scheme: salt concentration from 2 to 10 %, sugar concentration from 0,5 to 1,5 %. Water activity was used as a parameter of optimization. By the help of Pareto diagram we found that salt concentration has a maximal statistically significant effect as a linear term. As the result of regression coefficients' calculation we found a mathematical model of salt concentration and sugar concentration influence on water activity parameter. We also found critical points for the models of the process: salt concentration must be equal to 4 %, sugar concentration – 1 %. On the base of regression equation we built an upper limit of out parameter, which reflects its dependence from in parameter. When analyzing a counter plot it was determined that 10,8 % salt concentration and 1 % sugar concentration are rational parameters, under the which conditions water activity parameter compounds less 0,86.

Key words: roe, salting, salt, sugar, water activity, mathematical model, the regression equation, Pareto diagram.

А. А. Менчинская, соискатель,

Т.М. Маевская, к.т.н.,

Т.К. Лебская, д. т. н., проф.,

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
Киевский национальный торгово-экономический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОСОЛА ИКРЫ ТОЛСТОЛОБИКА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АКТИВНОСТИ ВОДЫ

Методом математического моделирования определены оптимальные условия технологического процесса посола икры толстолобика. Математические модели получали методом полного факторного эксперимента на основе композиционного ортогонального плана второго порядка для двух факторов: концентрации поваренной соли и сахара. Исходя из анализа основных параметров процесса, были определены вариативные факторы плана исследований: концентрация соли от 2 до 10 %, концентрация сахара в пределах от 0,5 до 1,5 %. В качестве параметра оптимизации использован показатель активности воды. На основании анализа карты Парето, установлено, что максимальным достоверным и значимым эффектом является линейный член концентрация соли. В результате расчета коэффициентов регрессии получили математическую модель влияния концентрации соли и сахара на показатель активности воды. Для указанной функции найдены критические точки: концентрация соли 4 %, концентрация сахара 1 %. На основе уравнений регрессии построено поверхность отклика выходного параметра, отражающую его зависимость от входных факторов. Анализируя контурный график, установили, что оптимальными параметрами являются концентрации соли 10,8 %, а сахара 1 %, при которых показатель активности воды составляет меньше 0,86.

Ключевые слова: икра, посол, соль, сахар, активность воды, математическая модель, уравнение регрессии, карта Парето.

Ікра товстолобика характеризується високою харчовою і біологічною цінністю, однак, водночас, є сприятливим середовищем для існування та розмноження мікроорганізмів. Умовою одержання високоякісних та безпечних харчових продуктів на основі ікри є застосування способів консервування, які забезпечують пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, інактивацію ферментів без погіршення органолептичних і функціонально-технологічних показників сировини.

Основним способом консервування рибної ікри є соління. Мета соління полягає у формуванні відповідних органолептичних показників та запобіганні автолізу і гнильному розкладу. Основними складовими компонентами суміші для соління є сіль та цукор. Дані речовини виступають органолептичними та фізіологічними складовими харчових продуктів завдяки своїй осмотичній активності [1]. Проникаючи в ікринки, хлорид натрію, сприяє видаленню з них деякої кількості вологи, що обумовлено силами осмосу, при цьому ікринки ущільнюються. Сіль також викликає плазмоліз клітин мікроорганізмів, які спричиняють псування ікри, тим самим уповільнюючи розвиток мікрофлори. Додавання цукру до складу суміші для соління дозволяє знизити вміст вологи в ікрі за меншої концентрації кухонної солі [2]. Внаслідок зменшення вмісту вологи, розвиток мікроорганізмів призупиняється, оскільки для здійснення метаболічних процесів мікроорганізми потрібна певна кількість води [3].

Із загальної кількості води, що міститься в харчових продуктах, мікроорганізми можуть використовувати для своєї життєдіяльності лише «вільну воду» [3, 4]. Кількість

«вільної води» виражає показник активності води (a_w). Різні види мікроорганізмів здатні розвиватися тільки в певних рамках значень активності води. При досягненні певної максимальної або мінімальної величини активності води знижується активність і припиняється життєдіяльність мікроорганізмів. Шляхом визначення максимальної, мінімальної та оптимальної величин активності води, характерних для гігієни і технології продуктів харчування з певними мікроорганізмами, можна регулювати величину a_w , в такий спосіб, впливати на присутню мікрофлору, пригнічуючи мікроорганізми або цілеспрямовано використовуючи їхню активність [5]. Тому показник активності води може застосовуватися для прогнозування росту мікробів, визначення мікробіологічної стабільності, обґрунтованого прогнозування тривалості зберігання харчових продуктів.

Від значення показника активності води залежать не лише мікробіологічні процеси, а й ферментативний розпад та окиснення основних складових компонентів харчових продуктів. Також показник активності води впливає на формування структурно-механічних властивостей продукту. Існують загальноприйняті граничні значення показника a_w , які характеризують інтенсивність перебігу фізико-хімічних та біохімічних процесів у сировині та продуктах. За величиною a_w можна судити про завершення або правильність ведення, як окремих етапів обробки, так і всього технологічного процесу виготовлення та зберігання харчової продукції [6, 7].

Показник a_w є одним з основних параметрів «бар'єрної технології», використовується в якості критерію безпеки в концепції «Аналіз небезпек за контрольними критичними точками» (НАССР) та включений в систему стандартів якості ISO 9001 [7 – 9].

Вплив значення показника активності води на якість та мікробіологічну стабільність харчових продуктів, висвітлено в працях багатьох зарубіжних та вітчизняних учених [2, 4, 6]. У роботах зарубіжних авторів також наведено результати дослідження показника a_w при виготовленні рибних продуктів, в тому числі на основі рибної ікри [10 – 13]. Враховуючи значну інформативність, важливість та світовий досвід застосування показника a_w при виготовленні рибних продуктів, доцільним є застосування даного показника як критерію якості та безпеки в технології пастоподібних продуктів на основі ікри прісноводної риби.

На основі попередніх досліджень встановлено, що показник активності води ікри товстолобика складає 0,998. Одержані дані свідчать про те, що дана сировина є сприятливим середовищем для існування та розмноження всіх видів мікроорганізмів [3, 5]. Тому при виробництві харчових продуктів на основі ікри товстолоба необхідно суворо дотримуватись санітарно-гігієнічних вимог і застосовувати такі параметри процесу соління, які забезпечать зниження показника a_w , пригнічення мікробіологічних процесів, забезпечуючи при цьому відповідні органолептичні показники сировини та готової продукції. Обрати оптимальні параметри здійснення технологічного процесу соління дозволяє використання методів математичного моделювання. Їх застосування дає змогу реалізувати всі можливі неповторювані комбінації, уможливорює оцінювання впливу не тільки окремих факторних ознак, а й їх сукупності, гарантує отримання регресійної моделі, яка адекватно описує локальний відрізок факторного простору в зазначеному процесі [14, 15]. Оптимізація процесу соління дозволяє обрати оптимальні параметри, зменшити витрати часу та сировини на проведення експерименту, тому є актуальною та практично цінною.

Мета дослідження полягала у визначенні оптимальних концентрацій солі та цукру під час сухого соління ікри товстолобу.

Матеріали та методи досліджень. Для визначення умов процесу попередньої підготовки ікри сплановано композиційний ортогональний план другого порядку для двох факторів (табл. 1): концентрації кухонної солі та цукру. В цьому плані, ядром якого являється лінійний ортогональний план, фактори варіюють на 3 рівнях. В якості параметра оптимізації використано показник активності води соленої ікри товстолобу.

Таблиця 1

Композиційний план другого порядку для двох факторів

Номер досліджу	Фактори в натуральному масштабі		Фактори в умовних одиницях	
	Z ₁ (С с., %)	Z ₂ (С ц., %)	X ₁	X ₂
1	4	0,5	-1	-1
2	10	0,5	1	-1
3	4	1,5	-1	1
4	10	1,5	1	1
5	7	1	0	0
6	10	1	1	0
7	4	1	-1	0
8	7	1,5	0	1
9	7	0,5	0	-1

Проектування модельних композицій проводили з урахуванням максимально допустимих норм введення компонентів для соління, їх впливу на показник активності води, споживчих і технологічних характеристик готової продукції.

Попередня підготовка ікри полягала в однократному промиванні водопровідною водою за температури 15 °С, при співвідношенні ікри і води 1:2, протягом 30 с, стіканні на ситі з діаметром отворів 1 мм протягом 15 хв.

Соління здійснювали сухим способом. При цьому, зважену в необхідному масовому співвідношенні суміш солі та цукру розсипали рівномірно по всій поверхні поміщеної в посольну ванну ікри, ретельно перемішували дерев'яним веслом до повного розчинення сухих компонентів за кімнатної температури. Завершення процесу соління визначали візуально (ікра густішає, не прилипає до весла). Тривалість процесу складає 15-30 хв. Використовували сіль кухонну харчову виварну сорт «Екстра» (ДСТУ 3583 – 97), цукор білий кристалічний (ДСТУ 4623:2006). При цьому був заданий сталий зафіксований параметр процесу: сухе соління сумішшю солі та цукру.

Планування експерименту і обробка одержаних даних здійснювалась з використанням програми Statistica.

Показник активності води визначали за допомогою аналізатора активності води Нугго Palm.

План повнофакторного експерименту передбачав одночасне варіювання всіх досліджуваних факторів в межах рівнів: верхньому (Max), що має максимальне значення розглянутого фактору, нижньому (Min), відповідному мінімальному значенню фактору та середньому 0; зіркові точки у вибраному плані співпадають з максимальним і мінімальним рівнями. Інтервали зміни факторів експерименту представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри повного факторного експерименту

Рівень варіювання	Позначення	Кодовані параметри	
		Концентрація солі	Концентрація цукру
		X ₁ , %	X ₂ , %
Верхній	+1	10	1,5
Нижній	-1	4	0,5
Основний	0	7	1
Крок варіювання	λ	3	0,5

Математичну модель технологічного процесу соління отримували методом повного факторного експерименту на основі композиційного плану другого порядку для двох факторів. Виходячи з аналізу основних параметрів процесу були визначені варіативні чинники плану досліджень: концентрація солі (X_1) у діапазоні від 2 до 10 %, концентрація цукру (X_2) у межах від 0,5 до 1,5 %. Параметром оптимізації (Y), виступав показник активності води соленої рибної ікри.

Результати та їх обговорення. Результати експерименту в натуральних величинах занесені в таблицю 3. Числові величини функції відгуку (Y) кожної серії паралельних дослідів приведені до середнього арифметичного значення.

Таблиця 3

Результати експерименту ($n=3$, $p \leq 0,05$)			
Номер дослідів	$Z_1 (C_s, \%)$	$Z_2 (C_{\text{ц}}, \%)$	Y_1
1	4	0,5	0,975
2	10	0,5	0,910
3	4	1,5	0,969
4	10	1,5	0,910
5	7	1	0,948
6	10	1	0,878
7	4	1	0,937
8	7	1,5	0,916
9	7	0,5	0,934

Аналіз результатів впливу концентрацій солі та цукру на результуючий показник, зображених на діаграмі Парето (рис. 1), дозволяє оцінити значимість ефектів дисперсійного аналізу, які розташовані за абсолютною величиною значень: від найбільших до найменших. Величина кожного ефекту представлена стовпчиком.

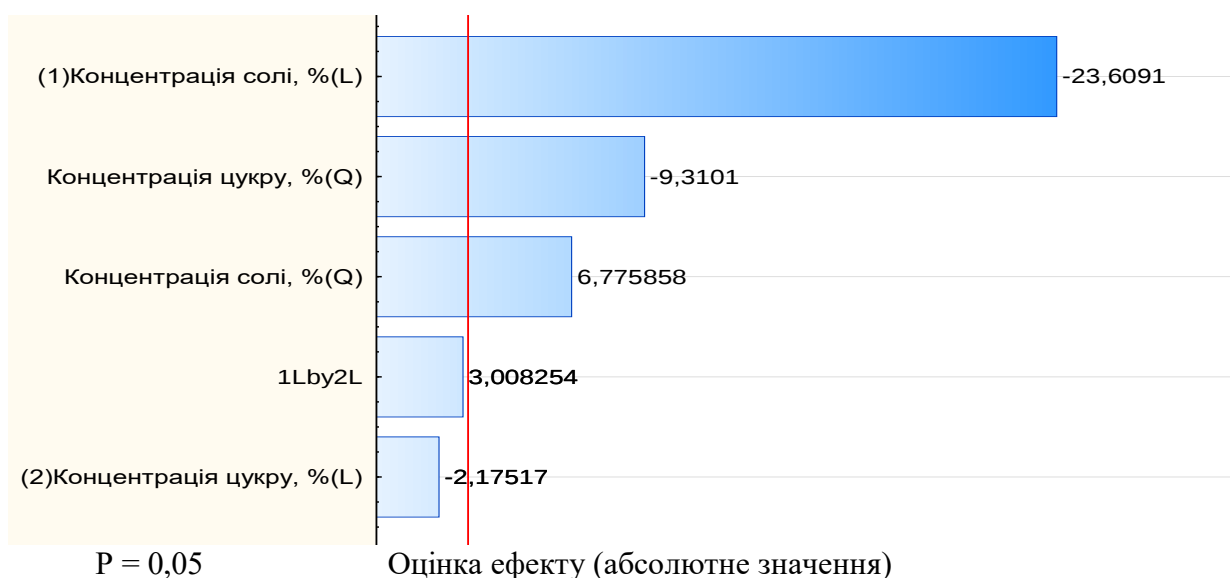


Рис. 1. Діаграма Парето ефектів впливу концентрацій солі та цукру на активність води

Аналізуючи діаграму Парето, бачимо, що члени рівняння математичної моделі дають ефекти, якщо перетинають вертикальну лінію, яка представляє 95 %-ву вірогідність. Так, максимальним достовірним і значущим ефектом являється лінійний член (1) концентрація солі (L), а лінійний член (2) концентрація цукру ((L) не має достовірного значущого ефекту. Також значущими є коефіцієнти регресії, що відповідають квадратичному впливу концентрацій обох сухих компонентів суміші для соління.

В результаті розрахунку коефіцієнтів регресії одержано математичну модель впливу концентрації солі (x_1) та цукру (x_2) на показник активності води (y):

$$y = 1,0318 + 0,0108 \cdot x_1 - 0,0018 \cdot x_1^2 - 0,2053 \cdot x_2 + 0,0880 \cdot x_2^2 + 0,0034 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Для моделей процесу було знайдено критичні точки: концентрація солі 4 %, концентрація цукру 1 %.

На основі рівняння регресії було побудовано поверхню відгуку (рис. 2, а) вихідного параметру (y), що відображає його залежність від вхідних параметрів x_1 та x_2 . Дані просторової графічної моделі найбільш повно відображають досліджуваний вплив.

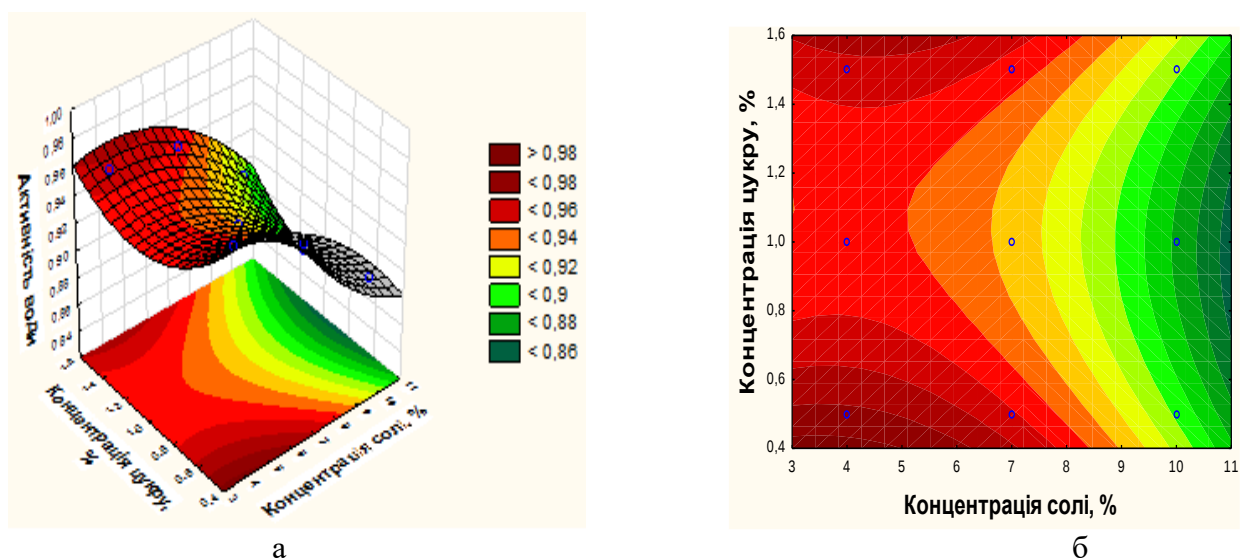


Рис. 2. Графіки залежності відгуку y від факторів x_1 , x_2 :
а – графік поверхні відгуку; б – контурний графік

Для більш детального розгляду області максимуму було побудовано контурний графік залежності відгуку від заданих факторів (рис. 2, б). З графіка видно, що поверхня відгуку проходить через експериментальні точки. Ця поверхня має максимум, рівний 4 % солі.

Аналізуючи контурний графік, можна зробити висновок, що раціональними параметрами є концентрації солі 10,8 %, а цукру 1 %, за яких показник активності води складає менше 0,86.

Для перевірки адекватності моделі побудовано графік розсіювання значень, що передбачаються та спостерігаються (рис. 3)

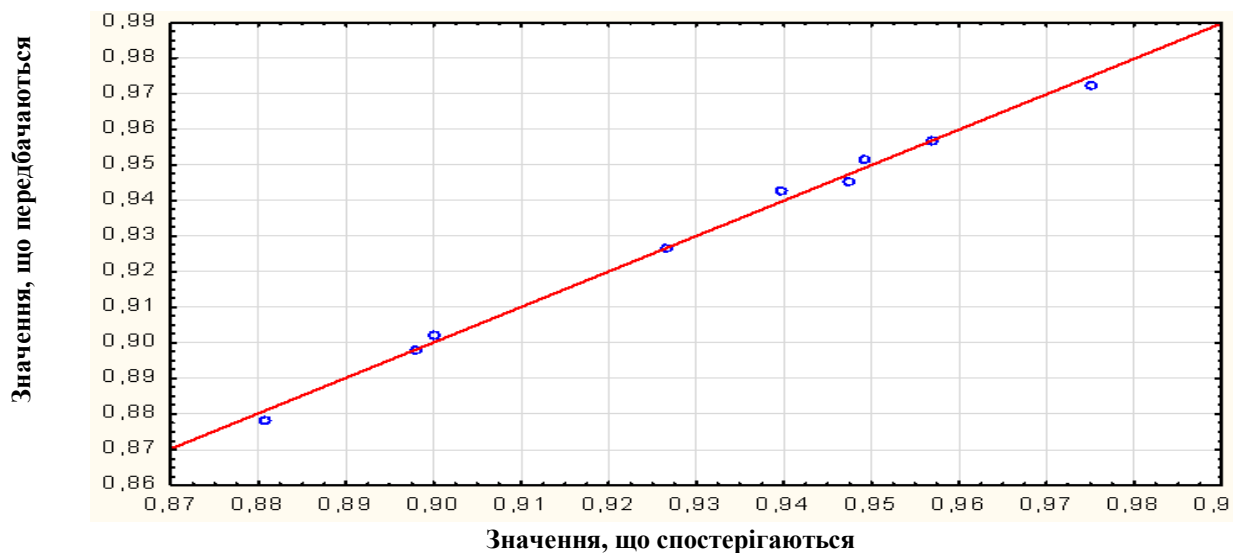


Рис. 3. Графік розсіяння значень, що передбачаються та спостерігаються

Одержаний графік розсіяння значень, що передбачаються та спостерігаються, підтверджує адекватність нашої моделі, оскільки сині кружечки з незначним відхиленням лягають на червону лінію.

Висновки

На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії, що адекватно описує процес соління. Встановлено, що більш позитивний вплив на критерій оптимізації має збільшення концентрації солі. Оптимальними умовами процесу соління ікри товстолибику є концентрації солі 10,8%, ацукру 1 %, за яких показник активності води складає менше 0,86.

Література

1. Люк Э., Ягер М. Консерванты в пищевой промышленности : монография. — СПб. : ГИОРД, 1998. — 256 с.
2. Фатьянов Е.В., Евтеев А.В., Те Р.Е. Зависимость активности воды от концентрации соли и углеводов/ Е.В. Фатьянов, А.В. Евтеев, Р.Е Те // Научное обозрение. — 2011. — № 5. — С. 69-74.
3. Рудавська Г. Б., Леріна І. В., Демкевич Л. І. Мікробіологія: Підручник. / Г. Б. Рудавська, І. В. Леріна, Л. І Демкевич — К.: Київ. нац. Торг.-екон. ун-т, 2001. — С. 61-63
4. Баранов Б.А. Теоретические и прикладные аспекты показателя «активность воды» в технологии продуктов питания : дис. на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.18.16 «Технология продуктов общественного питания» / Баранов Борис Алексеевич.— СПб, 2000г. — 247 с.
5. Баль-Прилипко Л.В., Мельничук С.Д., Прасол Д.Ю., Віннов О.С. Вода. значення у формуванні показників якості та безпеки сировини і продуктів харчування: Навчально – методичний посібник / Л.В Баль-Прилипко, С.Д. Мельничук, Д. Ю Прасол, О.С. Віннов — К.: КВІЦ, 2012 — 34 с.
6. Усатенко Н. Ф., Охріменко Ю. І. Експрес-метод оцінки якості м'ясних продуктів / Н.Ф. Усатенко, Ю.І. Охріменко // Продовольчі ресурси:зб. наук. праць —2014. — № 2. — С. 11–14.
7. Ляйстнер Л. Барьерные технологии: комбинированные методы обработки, обеспечивающие стабильность, безопасность и качество продуктов питания. — Перевод с англ. / Л. Ляйстнер, Г. Гоулд. — М.:ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова. 2006. — 236 с.

8. Water activity: theory and applications to food : Proc. of the 10 th basic symp. held in Dallas, Tex. / ed. by L.B. Rockland, L.R. Beuchat. — N.Y.: New York Dekker, 1987. — 243 p.
9. Da Silva L. V. A. Hazard analysis critical control point (HACCP), microbial safety, and shelf life of smoked blue catfish (*Ictalurus furcatus*): дис. — Louisiana State University, 2002.
10. Rosnes J. T., Skåra T., Skipnes D. Recent advances in minimal heat processing of fish: effects on microbiological activity and safety // Food and bioprocess technology. — 2011. — Т. 4. — №. 6. — С. 833-848.
11. Aberoumand A. Estimation of microbiological variations in minced lean fish products // World Journal of Fish and Marine Sciences. — 2010. — Т. 2. — №. 3. — С. 204-207.
12. Кращенко В. В., Карпенко Ю. В. Влияние бинарного структурообразователя на свойства рыбных студней / В. В. Кращенко, Ю. В. Карпенко // Изв. ТИПРО. — 2014 т. 179. — С. 272-278.
13. Scano P. et al. Lipid components and water soluble metabolites in salted and dried tuna (*Thunnus thynnus* L.) roes // Food chemistry. — 2013. — Т. 138. — №. 4. — С. 2115-2121
14. Математичне моделювання та планування експерименту : метод. реком. / [уклад. С.М. Гаріна, Р.О. Тарасенко]. — К. : "Спринт-Принт", 2011. — 104 с.
15. Маєвська Т. Оптимізація процесу вилучення білкових речовин із рибної маси / Тетяна Маєвська, Олексій Віннов // Товари і ринки. — 2013. - №1 (15). — С.63-69.