

БИОПОТЕНЦИАЛ ЧЕШУИ ЛЕЩА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПОЛУЧЕНИЮ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ИХТИОЖЕЛАТИНА



Э. С. Лазарева, студентка
E-mail: elina.lazareva.03@mail.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

О. Я. Мезенова, д. т. н., профессор
E-mail: mezenova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье представлены результаты исследования биопотенциала чешуи балтийского леща (*Abramis brama*) как источника рыбного желатина для создания биodeградируемой пленки. Установлен аминокислотный состав чешуи, позволяющий оценить примерное содержание коллагена. Методом кислотного гидролиза с помощью лимонной кислоты получен ихтиожелатин, который использован как пленкообразующий компонент в составе пленки. С использованием ортогонального центрального композиционного плана второго порядка установлены оптимальные дозировки желатина и каппа-каррагинана. Полученная биоразлагаемая пленка обладает удовлетворительными органолептическими свойствами и рекомендуется для упаковки хлебобулочных и кондитерских изделий.

Ключевые слова: биоразлагаемая пленка, рыбный желатин, каррагинан, чешуя леща.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия развития рыбной отрасли РФ до 2030 года предполагает рост вылова рыбы до 5,4 млн т и потребление не менее 25 кг/чел/год [1], что увеличит объем вторичного рыбного сырья (чешуя, кости, кожа, внутренности). Рыбные отходы (30–60 % массы сырья) часто не утилизируются, создавая экологическую нагрузку на окружающую среду. Одновременно в мире растет накопление синтетических полимеров, не разлагающихся сотни лет, что представляет экологическую угрозу планете. В настоящее время в пищевой промышленности и индустрии питания особое внимание уделяется созданию нетоксичных, легко утилизируемых упаковочных материалов нового ассортимента, способных обеспечить надежную защиту продукции от вредных факторов [2]. Применение в составе таких пленок традиционного желатина, получаемого из шкур крупного рогатого скота и свиней, имеет этические, религиозные и экономические ограничения, а также риск передачи заболеваний животных. Перспективной альтернативой является использование рыбного желатина при его получении из отходов. Преимуществами ихтиожелатина являются доступность и дешевизна сырья, перспективность промышленного производства на имеющемся недорогом оборудовании. Композиция ихтиожелатина с полисахаридами (например, каппа-каррагинаном) позволяет улучшить технологические свойства пленки, а введение пластификатора глицерина – повысить ее эластичность. Востребованными областями применения биоразлагаемой пленки на основе рыбного желатина является упаковка пищевой продукции.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила чешуя леща Балтийского моря (*Abramis brama*), а также рецептура и технология получения на его основе биоразлагаемой пленки.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является обоснование протеинового потенциала, получение и разработка оптимального состава биоразлагаемой пленки на основе рыбного желатина из чешуи балтийского леща, каппа-каррагинана и глицерина.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи:

- 1) Определение аминокислотного состава чешуи балтийского леща.
- 2) Получение рыбного желатина.
- 3) Обоснование оптимальных дозировок ихтиожелатина и каррагинана в составе биоразлагаемой пленки.
- 4) Получение и оценка свойств пленки в качестве упаковочного материала.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки биопотенциала чешуи леща по аминокислотному составу использовали метод капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-205».

Для обоснования оптимального состава пленки использовали метод математического планирования эксперимента на основе ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка для двух варьируемых факторов – дозировок желатина и каррагинана.

Степень отделения от подложки оценивали по 5-балльной шкале: 1 – практически не отделяется; 2 – отделяется очень трудно; 3 – отделяется трудно; 4 – отделяется с легким усилием; 5 – отделяется практически без усилий.

Внешний вид оценивали также по 5-балльной шкале: 1 – структура полностью разрушена (отверстия, расслоение); 2 – значительные отклонения структуры (наличие крупных включений каррагинана); 3 – незначительные отклонения структуры (шероховатая поверхность пленки); 4 – практически без отклонений (ровная гладкая поверхность, наличие маленький включений); 5 – без отклонений (ровная гладкая поверхность без отверстий, включений, расслоения).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» ранее учеными Л. С. Байдалиновой и Е. Е. Ляпустиной был установлен общий химический состав чешуи балтийского леща (таблица 1) [2].

Таблица 1 – Общий химический состав чешуи леща в различные периоды вылова

Массовые доли	Содержание, %, при вылове леща в месяцы	
	сентябрь	март
Влаги	52,4	51,2
Жиры	0,7	0,6
Белка	16,3	22,8
Золы	30,3	24,6

Из таблицы 1 видно, что чешуя содержит достаточное количество белка. Для оценки примерного содержания коллагена был установлен аминокислотный состав чешуи, представленный в таблице 2.

Содержание гидроксипролина (основной аминокислоты коллагена) в чешуе осеннего и зимнего выловов отличается незначительно. Содержание коллагена можно рассчитать аналитическим методом по формуле (1):

$$X = K \cdot X_1, \quad (1)$$

где X – содержание коллагена, %; K – коэффициент пересчета гидроксипролина на коллаген, равный 8,07; X_1 – содержание гидроксипролина в сухой чешуе, %.

Следовательно, содержание коллагена в чешуе осеннего и весеннего выловов соответственно составляет 51,65 и 41,16 %.

Таблица 2 – Аминокислотный состав чешуи леща в различные периоды вылова

Наименование аминокислоты	Содержание аминокислоты в сухой чешуе	
	Осенний вылов, г/100 г чешуи	Весенний вылов, г/100 г чешуи
Аргинин	4,85	5,03
Лизин	2,65	2,76
Тирозин	0,67	0,70
Фенилаланин	1,32	1,30
Гистидин	0,92	0,93
Лейцин и изолейцин	2,85	2,91
Метионин	1,43	1,32
Валин	1,26	1,43
Гидроксипролин	6,40	5,72
Пролин	8,36	7,88
Треонин	1,89	2,03
Серин	3,36	3,60
Аланин	6,45	6,36
Глицин	14,28	15,02

Рыбный желатин получали кислотным гидролизом чешуи с использованием лимонной кислоты с концентрацией 1 % при температуре 45–50 °С в течение 40–45 мин и гидромо-дуле 1 : 2 (чешуя : кислота) [4]. Полученный желатиновый бульон сразу использовали для изготовления раствора биоразлагаемой пленки методом налива на чашку Петри с последую-щим высушиванием в термостате при температуре 50–55 °С в течение 13 ч. Пластификато-ром в рецептуре являлся глицерин марки ПК-94. Его вносили в количестве 2 % в каждый об-разец.

В качестве варьируемых факторов при обосновании состава пленки использовали со-держание раствора рыбного желатина и сухого каппа-каррагинана. Факторы варьировали со-ответственно от 50 % (min) до 80 % (max) на 20 г раствора с шагом 15 и от 13 % (min) до 53 % (max) с шагом 20. За частные отклики оценки качества пленки были приняты ее внеш-ний вид и ее степень отделения от подложки, которая позволяла оценить, насколько пленка является прочной. Обобщенный параметр оптимизации рассчитывали на основе приближе-ния экспериментального значения к идеальному. За «идеальные» значения откликов были приняты 5-балльные органолептические шкалы для каждого отклика. В таблице 3 представ-лен план эксперимента при моделировании состава пленки.

Таблица 3 – План эксперимента по оптимизации состава биоразлагаемой пленки

Номер пробы	План эксперимента		Частные отклики		Обобщенный пара-метр оптимизации
	Содержание же-латина, %	Содержание каррагинана, %	Внешний вид, баллы	Степень отделения пленки от подложки, баллы	
1	80	53	4	4	0,0800
2	50	53	3,8	3,9	0,1060
3	80	13	4,2	4,1	0,0580
4	50	13	3,5	3,6	0,1684
5	80	33	4,6	4,5	0,0164
6	50	33	4,1	4	0,0724
7	65	53	4,7	4,6	0,0100
8	65	13	4,5	4,4	0,0244
9	65	33	4,9	4,8	0,0020

В результате реализации эксперимента и обработки полученных данных (таблица 3) на основе алгоритмов ОЦКП была получена математическая модель в натуральном виде и рассчитаны оптимальные значения варьируемых факторов – по формуле (2):

$$Y = 0,462 - 0,00951Ж - 0,00157К + 0,0000903ЖК + 0,0000306Ж^2 + 0,0001675К^2, \quad (2)$$

где Y – обобщенный параметр оптимизации; $Ж$ – содержание ихтиожелатина, %; $К$ – содержание каррагинана, %.

Анализ модели показывает, что при увеличении содержания желатина и каррагинана значительно улучшается внешний вид пленки и ее степень отделения от подложки. При совместном увеличении содержания желатина и каррагинана значение Y будет увеличиваться, что даст ухудшение качеств. Установленные тенденции иллюстрирует геометрическая модель состава пленки, приведенная на рисунке 1.

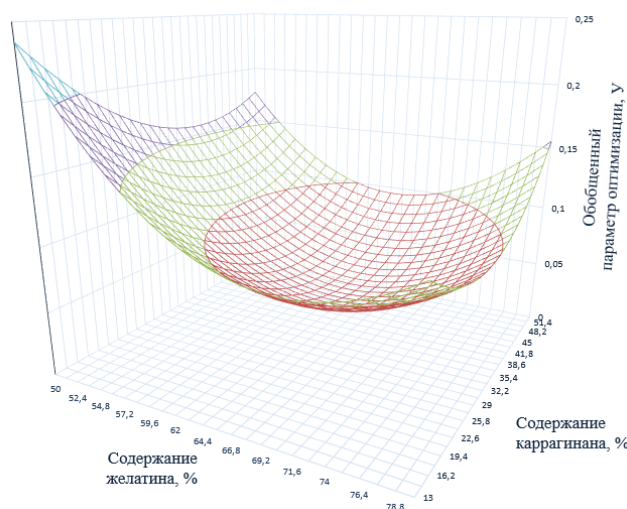


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация модели состава биоразлагаемой пленки

Рассчитанные оптимальные значения содержания желатина и каррагинана в составе 100 г раствора биоразлагаемой пленки: $Ж = 65,82$ %; $К = 32,18$ %.

Исходя из полученных данных был обоснован состав пленки (таблица 4).

Таблица 4 – Состав биоразлагаемой пленки на основе ихтиожелатина

Наименование компонента	Содержание, г/100 г пленки
Рыбный желатин на основе чешуи леща	65,82
Каппа-каррагинан	32,18
Глицерин	2

Из таблицы 4 видно, что в составе пленки содержится больше 60 % рыбного желатина, что доказывает его пленкообразующий протеиновый потенциал и позволяет рассматривать в качестве базового компонента, совместимого с технологическими добавками.

Получение пленки методом налива с предварительным смешиванием компонентов позволило получить пленку, представленную на рисунке 2.

Органолептическая характеристика пленки следующая: прозрачная, без складок, трещин, с наличием небольшого числа включений нерасплавленного каррагинана, бесцветная, без посторонних запахов.



А)



Б)

Рисунок 2 – Биоразлагаемая пленка: А) – нижняя поверхность; Б) – верхняя поверхность

Полученная пленка рекомендуется для применения в качестве упаковочного материала для кондитерских и хлебобулочных изделий (рисунки 3 и 4), не подлежащих замораживанию. Последнее обстоятельство обусловлено присутствием в составе пленки каррагинана, который может терять свои гелеобразующие свойства при замораживании и оттаивании [5]. Данное предположение следует экспериментально подтвердить, поскольку в новой пищевой системе свойства всех составляющих, включая каррагинаны и ихтиожелатин, могут существенно изменяться.



Рисунок 3 – Образец мармелада со вкусом манго, упакованный в полученную пленку



Рисунок 4 – Образец вафельных трубочек «Яшкино», упакованных в полученную пленку

Пленка на основе ихтиожелатина, полученного из чешуи балтийского леща, обладает рядом существенных преимуществ перед синтетическими упаковочными материалами. Она является экологически чистой, не требует специальных условий хранения (за исключением пониженных температур), не выделяет в окружающую среду токсичных веществ при разложении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснован протеиновый потенциал чешуи балтийского леща, показавший высокое содержание белка и значительное присутствие в нем пролина и гидроксипролина, как основных аминокислот рыбного коллагена.

На основе чешуи балтийского леща методом кислотного гидролиза с лимонной кислотой получен рыбный желатин, используемый в качестве матрицы в технологии биоразлагаемой пленки.

Методом математического моделирования и оптимизации обоснованы дозировки ихтиожелатина и каппа-каррагинана как основных структурообразователей в составе биоразлагаемой пленки.

На основе жидкого раствора ихтиожелатина и технологических добавок методом налива с последующим обезвоживанием получена пленка и изучены ее свойства, свидетельствующие о ее потенциальном применении для упаковки пищевых продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 8 сентября 2022 г. № 2567-р «Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г.». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/351735594> (дата доступа: 11.05.2025).
2. Якубова, О. С. Формирование свойств биodeградируемых пленок на основе рыбного желатина / О. С. Якубова, Л. Н. Вострикова, А. А. Кушбанова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 118–126. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-svoystv-biodegradiruemyh-plenok-na-osnove-rybnogo-zhelatina> (дата обращения: 12.05.2026).
3. Байдалинова, Л. С. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья / Л. С. Байдалинова, Е. Е. Ляпустина // Известия КГТУ. – 2018. – № 51. – С. 45–60. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-naturalnyh-strukturoobrazovateley-belkovoy-prirody-iz-kollagensoderzhashego-vtorichnogo-rybnogo-syrya> (дата обращения: 07.05.2026).
4. Олдырев, Д. В. Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов / Д. В. Олдырев, О. Д. Сергазиева, Н. В. Ярцева, А. А. Бахарева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 3. – С. 181–197. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-kollagensoderzhashey-ichtiosubstantsii-iz-vtorichnyh-rybnyh-resursov> (дата обращения: 08.05.2026).
5. Пищевая химия / под ред. А. П. Нечаева. – Изд. 4-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. – 640 с.
6. Покусаева, О. А. Ихтиожелатин как основа съедобных пленочных покрытий для пищевых продуктов / О. А. Покусаева, Н. В. Долганова, О. С. Якубова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 123–126. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ichtiozhelatin-kak-osnova-sedobnyh-plenochnyh-pokrytiy-dlya-pischevyh-produktov> (дата обращения: 10.05.2026).
7. ГОСТ 33692-2015. Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия. – Введ. 2017–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 22 с.

BIOPOTENTIAL OF BREAM SCALE AND RESEARCH ON BIODEGRADABLE FILMS BASED ON FISH JELLY

E. S. Lazareva, Student
E-mail: elina.lazareva.03@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

O. Ya. Mezenova, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Food Biotechnology
E-mail: mezenova@klgtu.ru
"Kaliningrad State Technical University"

The article presents the results of a study of the biopotential of the Baltic bream (*Abramis brama*) scale as a source of fish gelatin for creating a biodegradable film. The amino acid composition of the scale has been established, allowing for an approximate assessment of the collagen content. Ichthyogelatin has been obtained using acid hydrolysis with citric acid, and it has been used as a film-forming component in the film. The optimal dosages of gelatin and kappa-carrageenan have been determined using an orthogonal central composite design of the second order. The resulting biodegradable film has satisfactory organoleptic properties and is recommended for packaging bakery and confectionery products.

Keywords: *biodegradable film, fish gelatin, carrageenan, bream scale.*