

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 664.953

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-69-05

EDN: GEQVJC

Анализ опыта применения натурального созревателя в технологии малосоленной рыбной продукции из лососевых рыб

Елена Викторовна Лукина¹, Павел Владимирович Антонов²,
Илва Елизавета Олеговна Левшина³, Евгения Борисовна Шкуратова⁴,
Кира Сергеевна Рысакова⁵, Юлия Валерьевна Шокина⁶

^{1, 2, 3, 6} Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия

^{4, 5} Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича), Мурманск, Россия

⁴ shkuratovaeb@pinro.vniro.ru, ORCID: 0000-0002-81110708

⁶ shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: 0000-0002-6513-1912

Аннотация. Приведены результаты комплексного исследования опыта применения ферментного препарата из гепатопанкреаса краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) (далее ФППКС) в качестве созревателя в технологии деликатесного малосоленного филе лососевых рыб на примере форели радужной. Целью работы являлось обоснование рациональных технологических режимов посола инъектированием филе лососевых рыб. Было изучено влияние способа введения ФППКС (инъектированием рассола, содержащего консервант и созреватель, в толщу филе; инъектированием рассола, содержащего только консервант) и способа досаливания филе (сухой кристаллической солью; в тузлуке, содержащем созреватель) на массообменные процессы, протекающие в толще филе. Исследовали кинетику процесса просаливания филе, а также изменение градиентов концентрации соли, удельной интенсивности насыщения филе солью и коэффициента диффузии соли в толще филе в процессе просаливания и последующего созревания и хранения. Было установлено, что наиболее равномерное просаливание и достижение наилучших органолептических показателей филе форели радужной (массовая доля жира $9,02 \pm 1,86$ %, средняя масса филе до порционирования и вакуумирования 820 ± 50 г, удельная поверхность филе-кусков после порционирования $0,08 \pm 0,016$ м²/кг) после созревания и в процессе хранения при сопоставимой величине выхода готовой продукции (109 ± 2 %) обеспечивает посол филе инъектированием рассолом плотностью $1,15$ г/см³ с добавлением ФППКС до концентрации в рассоле $0,04$ % и комплексного консерванта (бензоат натрия и сорбат калия) до концентрации в рассоле 1 %, температурой минус 2 ± 1 °С, с досаливанием филе сухой кристаллической солью до заданной солёности $4,0$ % (температура посола, созревания и хранения 6 ± 2 °С). Исследования биохимических изменений в тканях филе в процессе созревания, оцениваемые показателями буферности и массовой доли аминного азота, показали имеющиеся отличия в характере массообменных процессов под влиянием изменений в тканях, обусловленных действием ФППКС.

Ключевые слова: форель радужная, посол инъектированием, диффузия соли, коэффициент диффузии, ферментный препарат, созревание

Благодарности. Исследования проведены в рамках научно-исследовательской работы по гранту НОЦ мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» в 2023 году, а также при финансовой поддержке Министерства образования и науки Мурманской области в рамках гранта на поддержку научно-исследовательских проектов молодых ученых Мурманской области в 2024 году.

Для цитирования: Лукина Е. В., Антонов П. В., Левшина И. Е. О., Шкуратова Е. Б., Рысакова К. С., Шокина Ю. В. Анализ опыта применения натурального созревателя в технологии малосоленой рыбной продукции из лососевых рыб // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 69, № 3. С. 50–68.

FOOD SYSTEMS

Original article

Analysis of the experience of using natural maturing agent in the technology of low-salted salmon fish products

Elena V. Lukina¹, Pavel V. Antonov², Iva Elizaveta O. Levshina³, Evgenia B. Shkuratova⁴, Kira S. Rysakova⁵, Yulia V. Shokina⁶

^{1, 2, 3, 6} Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

^{4, 5} VNIRO Polar Branch (N.M. Knipovich Pinot), Murmansk, Russia

⁴ shkuratovaeb@pinro.vniro.ru, ORCID: 0000-0002-81110708

⁶ shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: 0000-0002-6513-1912

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of the experience of using the enzyme preparation from the hepatopancreas of *Chionoecetes opilio* (EPCO further on) as a maturing agent in the technology of low-salted salmon fish fillets (with the use of rainbow trout raw material). The aim of the work is to substantiate rational technological modes of salting salmon fish fillets via injection. The influence of the method of injection of EPCO (by injecting brine containing preservative and maturing agent into the fillet thickness OR by injecting brine containing only preservative) and the method of fillet pre-salting (dry crystal salt OR with a brine containing maturing agent) on the mass-exchange processes occurring in the fillet thickness is studied, as well as the kinetics of the fillet salting process, changes in salt concentration gradients, specific intensity of fillet saturation with salt and salt diffusion coefficient in the fillet thickness during salting and subsequent maturing and storage. It is estimated that the most uniform salting and achievement of the best organoleptic characteristics of rainbow trout fillets (mass fraction of fat $9,02 \pm 1,86$ %, average fillet weight before portioning and vacuuming 820 ± 50 g, specific surface of fillet pieces after portioning $0,08 \pm 0,016$ m²/kg) after maturing and during storage at comparable value of yield of finished products (109 ± 2 %) provides salting of fillets by brine injection with density of 1.15 g/cm³ with addition of EPCO up to concentration in brine 0.04 % and a complex preservative (sodium benzoate and potassium sorbate) to a concentration of 1 % in brine, at a temperature of $minus 2 \pm 1$ °C, with fillet salting with dry crystalline salt of a given salinity of 4.0 % (salting, maturation and storage temperature of 6 ± 2 °C). Studies of biochemical changes in fillet tissues during maturation, estimated by buffering and mass fraction of amine nitrogen, have shown the differences in the nature of mass transfer processes under the influence of changes in tissues caused by the action of EPCO.

Keywords: rainbow trout, salting by injection, salt diffusion, diffusion coefficient, enzyme preparation, maturation

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of research work under the grant of the world-class REC "Russian Arctic: new materials, technologies and research methods" in 2023, as well as with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Murmansk Region within the framework of a grant to support research projects of young scientists of the Murmansk Region in 2024.

For citation: Lukina E. V., Antonov P. V., Levshina I. E. O., Shkuratova E. B., Rysakova K. S., Shokina Yu. V. Analysis of the experience of using natural maturing agent in the technology of low-salted salmon fish products. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 69(3): 50–68. (in Russ.).

Введение

В последнее десятилетие на рынке рыбных продуктов наблюдается постоянно растущий спрос. Растущий потребительский спрос на деликатесную малосоленую продукцию из лососевых рыб [1] ставит перед производителями ряд проблем, требующих инновационных технологических решений. Наиболее актуальной является проблема повышения качества и безопасности продукции на фоне повсеместного применения импортных синтетических пищевых добавок, активизирующих процесс созревания малосоленой рыбы и рыбного филе [2].

Альтернативой таким добавкам могут стать ферментные препараты – созреватели натурального происхождения, среди которых известны препараты микробного (на основе культур *Bacillus subtilis*), животного происхождения (из тканей теплокровных животных) и препараты, получаемые из внутренностей рыб (например, широко известный ферментный препарат «Океан» из внутренних органов сельди, скумбрии, балтийской кильки и др., являющихся отходами консервного производства, разработанный в АтлантНИРО) [3, 4, 5]. За последние два десятилетия за рубежом и в России разработан ряд ферментных препаратов, получаемых из пищеварительных органов морских беспозвоночных, которые являются отходами переработки и практически не используются в настоящее время [6, 7, 8]. В отношении этих препаратов накоплен достаточно большой опыт использования в пищевой промышленности для получения белковых гидролизатов [7] и в качестве активаторов созревания соленой и копченой продукции из гидробионтов [3, 4, 5].

Ферментный препарат из гепатопанкреаса краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) (далее ФПГПКС) разработки специалистов Полярного филиала ФГБНУ ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича) представляет собой порошок молочного цвета с массовой долей влаги не более 4 %, обладает протеолитической активностью в диапазоне температур от 5 до 15 °С [3], что оптимально при использовании препарата в качестве созревателя при посоле рыбы. Ранее проведенными исследованиями доказана эффективность ФПГПКС как активатора созревания в технологии деликатесного подкопченного филе из незрелых рыб – трески атлантической и сайды. В разработанной технологии обосновано использование препарата введением в состав тузлука для посола полуфабриката (прерванный тузлучный посол) в концентрации 0,04 % при длительности процесса 10–15 мин в зависимости от величины удельной поверхности филе [3].

С учетом вышеизложенного основную цель исследований представляло научное обоснование использования ФПГПКС в технологии деликатесного малосоленого филе лососевых рыб в качестве альтернативы импортным синтетическим пищевым добавкам.

Перечень решаемых для достижения поставленной цели задач включал:

- 1) исследование массообменных процессов, протекающих при посоле филе форели радужной разными способами с использованием в качестве активатора процесса созревания ФППКС;
- 2) исследования органолептических и биохимических изменений в филе форели радужной малосоленом в процессе посола и последующего созревания и хранения;
- 3) обоснование выбора рациональных технологических режимов посола с использованием ФППКС в технологии филе форели радужной малосоленого.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись коммерческие образцы форели радужной неразделанной охлажденной по ГОСТ 814-2019 «Рыба охлажденная. Технические условия», опытный образец ФППКС; опытные образцы филе форели радужной малосоленого.

Предметом исследования являлись разработанные технологические решения с использованием активатора созревания натурального происхождения, направленные на формирование потребительских признаков деликатесной рыбной малосоленой продукции из лососевых рыб, а также массообменные процессы, биохимические и органолептические изменения, протекающие в толще малосоленого филе форели радужной в процессе посола и последующего созревания и хранения.

Схема исследования представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема исследования по научному обоснованию посола в технологии деликатесного малосоленого филе лососевых рыб на примере форели радужной. Составлено авторами

Fig. 1. The scheme of research on the scientific justification of salting in the technology of lightly salted gourmet salmon fillets (with the use of rainbow trout raw material). Compiled by the authors

Опытные образцы форели радужной филе малосоленого готовили следующим образом: рыбу, разделанную на филе с кожей (с оставлением чешуи на коже), подвергали мойке, стеканию и солили инъектированием с использованием шприца медицинского на 50 см³ с насадкой-инжектором на 5 игл (рис. 2).



Рис. 2. Посол опытных образцов с использованием насадки-инъектора. Фото сделано авторами
Fig. 2. The salting of the prototypes using the nozzle-injector. The photo was taken by the authors

Раствор для инъектирования филе рыбы готовили следующим образом: в воде растворяли соль поваренную пищевую по ГОСТ Р 51574-2018 марки «Экстра» до достижения в растворе плотности по ареометру $1,15 \text{ г/см}^3$ (соответствует расчетной концентрации поваренной соли 19,5 %), требования к использованной воде в соответствии с требованиями к питьевой воде СанПиН 2.1.3684-2021. В раствор вводили комплексный консервант бензоат натрия и сорбат калия («KONSERVAL BS» производства ООО «Ваш Технолог» Россия, г. Санкт-Петербург), предварительно растворив сухой мелкокристаллический порошок в небольшом количестве теплого рассола до концентрации 1 %. В зависимости от условий эксперимента в рассол вводили ФППКС в виде тонко измельченного порошка до концентрации в растворе 0,04 %. Рассол тщательно перемешивали до полного растворения всех компонентов, после чего фильтровали через два слоя чистой сухой марли и помещали в холодильную камеру для охлаждения до температуры $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Готовый рассол использовали для наполнения инъектора и посола рыбы.

Раствор для досаливания филе готовили следующим образом: в воде растворяли соль поваренную пищевую по ГОСТ Р 51574-2018 марки «Экстра» до достижения в растворе плотности по ареометру $1,04 \text{ г/см}^3$ (соответствует расчетной концентрации поваренной соли 5,2 %). В раствор вводили ФППКС в виде тонко измельченного сухого порошка до концентрации в растворе 0,04 %, затем тщательно перемешивали до полного растворения всех компонентов, после чего фильтровали через два слоя чистой сухой марли и охлаждали в холодильной камере до температуры $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Готовый рассол для досаливания вносили в посольную емкость.

Техника посола инъектированем, использованная в эксперименте: филе шприцевали рассолом при помощи инъектора, стремясь поддерживать одинаковое усилие рабочей руки при впрыскивании рассола в толщу филе, второй рукой удерживали филе в постоянном положении на рабочем столе. Шаг шприцевания около 2 см по длине филе, иглы инъектора при

шприцевании вводили поперек филе под углом около 45 °, стремясь попасть между миоцептами. После инъектирования филе оставляли на столе для стекания на 5–10 мин, затем взвешивали и рассчитывали привес и массу вошедшей в филе поваренной соли с учетом исходной концентрации поваренной соли в рассоле. Формулы для расчета (1–3) приведены ниже.

$$M_{\text{филе после инъектирования, кг/г}} - M_{\text{филе до инъектирования, кг/г}} = M_{\text{рассола в филе, кг/г}}; \quad (1)$$

$$M_{\text{рассола в филе, кг/г}} \cdot (C_{\text{NaCl в рассоле, \%}/100}) = M_{\text{NaCl в филе, кг/г}}. \quad (2)$$

$$(M_{\text{NaCl в филе, кг/г}}/M_{\text{филе после инъектирования, кг/г}}) \cdot 100 = C_{\text{NaCl в филе, \%}} \quad (3)$$

Проинъектированное филе подвергали досаливанию сухой кристаллической солью или в тузлуке в зависимости от условий эксперимента.

При досаливании филе в тузлуке проинъектированное филе помещали в посольную емкость с тузлуком, в состав которого введен ФППКС. Досаливание осуществляли при соотношении филе : тузлук как 1 : 2 в течение 15 мин (режим обоснован в [3]).

Досаливание сухой кристаллической солью осуществляли следующим образом: проинъектированное филе после стекания взвешивали и рассчитывали недостающее количество сухой соли с учетом достижения в готовой продукции требуемой солёности 4,0 %. Формулы для расчета (4–6) приведены ниже.

$$C_{\text{готовой продукции требуемая, \%}} - C_{\text{NaCl в филе, \%}} = C_{\text{дефицит солёности, \%}}. \quad (4)$$

$$(C_{\text{дефицит солёности, \%}}/100) \cdot M_{\text{филе после инъектирования, кг/г}} = M_{\text{NaCl для досола, кг/г}}. \quad (5)$$

$$M_{\text{NaCl для досола, кг/г}} \cdot K_{\text{потерь NaCl при сухом посоле, д.е.}} = M_{\text{NaCl для досола филе с учетом потерь, кг/г}}. \quad (6)$$

Расчетное количество поваренной соли взвешивали на технических весах, после чего навеску наносили россыпью равномерно на поверхность филе со стороны мяса, стремясь не оставлять свободных от соли участков.

Посоленный полуфабрикат размещали на носители – подложки из полимерных материалов – и помещали, накрыв полимерной крышкой, в холодильную камеру на 10±2 ч для посола и равномерного перераспределения соли в толще филе, после чего опытные образцы филе разрезали поперек на куски длиной около 5 см и по одному упаковывали в пакеты из полимерных материалов и вакуумировали. Все опытные образцы маркировали с указанием даты выработки и способа обработки и хранили при температуре 6±2 °С. Период исследования составил 45 сут, что соответствует периоду исследования с целью гигиенического обоснования рекомендуемых сроков годности (предположительно 30 сут) готовой продукции с учетом коэффициента резерва 1,5 в соответствии с МУК 4.2.1847-04 «Методические указания 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов».

В работе использованы современные методы исследования: физические и органолептические по ГОСТ 7631-2008, физико-химические (определение массовой доли общего (ОА), %, и небелкового азота (НБА), %, методом Кьельдаля для расчета массовой доли истинного протеина (белка) Б, %, с использованием коэффициента пересчета 6,25; массовой доли золы (З), %, воды (В), %, жира (Ж), %, массовой доли соли (S), %, по ГОСТ 7636-85; определение

массовой доли аминного азота (АА), мг%, методом формольного титрования, определение буферности методом, основанным на установлении количества миллилитров 0,1 н раствора щелочи, требующегося для изменения концентрации водородных ионов рН водной вытяжки из исследуемой пробы продукции (при соотношении продукт : вода как 1 : 10) от 0,2 до 9,8, условно выраженным в градусах; определение общей кислотности методом, основанным на титровании щелочью всех кислот, находящихся в исследуемом продукте); математические (обработка экспериментальных данных общепринятыми статистическими методами в программе Excel); определение массообменных характеристик в процессе посола филе (градиента концентрации соли ($GradC_{NaCl}$), удельной интенсивности насыщения тканей рыбы солью q , коэффициента диффузии соли D_{NaCl}) проводили экспериментально-расчетным методом – решением обратной задачи основного уравнения массопроводности.

Методика определения перечисленных выше показателей, характеризующих массообмен в процессе посола, примененная в исследовании [9, 10], состоит в следующем.

В опытном образце филе-куска экспериментально аргентометрическим методом определяют распределение поваренной соли по толщине куска. Для этого филе-кусок разрезают на три равных по толщине слоя – верхний (со стороны мяса), средний и нижний (примыкает к коже), после чего в каждом слое определяют массовую долю поваренной соли.

По полученным результатам строят графическую зависимость $S_{(0,\tau)}^n = f(\delta)$, где $S_{(0,\tau)}^n$ – соленость, %, соответствующего слоя (верхнего, среднего или нижнего); δ , м – координата слоя, в котором определена соленость. При построении графика начало координат отсчитывают от поверхности куска со стороны мяса, таким образом, соленость верхнего слоя филе-куска образует левую границу графической зависимости, а соленость нижнего – правую. Среднее значение солености рыбы рассчитывают как среднее арифметическое значение соленостей по слоям филе-куска. С использованием полученной зависимости находят градиент концентрации соли в рыбе $GradC_{NaCl}$ графическим дифференцированием касательных к кривым распределения соли в филе-куске рыбы в крайних точках границ как тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс. При выполнении построений исключают влияние выбранного произвольно масштаба по осям путем учета масштабных коэффициентов.

Удельную интенсивность насыщения рыбы солью q , г/(м²·с), находят, используя экспериментальные данные о распределении соли по толщине филе-куска рыбы и графическую зависимость $S_{(0,\tau)}^n = f(\delta)$, по формуле

$$q = \frac{S_{p2} - S_{p1}}{(\tau_2 - \tau_1) \cdot 0,1 \cdot F}, \quad (7)$$

где S_{p1}, S_{p2} – массовые доли соли в рыбе, г/100 г рыбы, за достаточно малый промежуток времени $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$, с;

τ_1, τ_2 – продолжительность периода посола, за который достигаются солености S_{p1}, S_{p2} , с;

F – удельная поверхность рыбы, м²/кг;

0,1 – коэффициент пересчета удельной поверхности, отнесенной к 1 кг массы рыбы на 100 г массы рыбы.

Коэффициенты диффузии D , м²/с, рассчитывали из основного уравнения массопроводности (закона молекулярной диффузии Фика)

$$q = -D \cdot \rho \cdot GradC_{NaCl}, \quad (8)$$

где ρ – объемная масса (плотность) мяса рыбы, кг/м³.

Из выражения (8) следует, что коэффициент диффузии может быть рассчитан по формуле

$$D = \frac{q}{\rho \cdot \text{Grad}C_{\text{NaCl}}} . \quad (9)$$

Исследования проводили на экспериментальной базе кафедры «Технологии пищевых производств» Мурманского арктического университета.

Результаты и их обсуждение

На основе проведенного анализа отечественного рынка соленой продукции из лососевых рыб при обосновании рациональных технологических режимов посола филе форели радужной в качестве базовой выбрана технология малосоленой продукции (массовая доля поваренной соли в готовой продукции от 4,0 до 6,0 % включительно в соответствии с требованиями ГОСТ 7448-2021 «Рыба соленая. Технические условия»).

Способ разделки готовой малосоленой продукции из форели – филе-кусок с кожей – выбран по результатам аналитического обзора актуальной научной и технической литературы и учитывает потребительские предпочтения. В соответствии с требованиями ГОСТ 7448-2021 – это рыба, разрезанная по длине на две продольные части и затем – на поперечные части длиной 5,0 см и более, у которой удалены голова, позвоночная, плечевые и реберные кости, плавники, внутренности, в том числе икра или молоки, сгустки крови зачищены, мелкие реберные кости и чешуя на коже могут быть оставлены.

Научному обоснованию подлежит выбор рациональных технологических режимов посола при изготовлении деликатесного малосоленого филе лососевых рыб. Обоснование выбора концентрации ФППКС (0,04 %) в тузлуке и рассоле для инъектирования для посола рыбы выполнено ранее [3]. Прочие технологические факторы, влияющие на оценку потребительских свойств малосоленой продукции (химический и размерно-массовый состав сырья, температура посола, плотность тузлука и рассола), поддерживали на постоянном уровне в ходе всех экспериментов для исключения их влияния на результат.

Все эксперименты проводили на рыбном сырье одной коммерческой партии, характеризующейся постоянством химического состава (табл. 1) и удельной поверхности (0,08±0,016) м²/кг. Величина гидромодуля (отношение массы введенного рассола в мышечную ткань рыбы к массе полуфабриката до инъектирования, выраженное в процентах) составила 9±2 %.

Таблица 1

Химический состав филе (без кожи) форели радужной

Table 1

Chemical composition of fillet (without skin) of rainbow trout

Показатель	Содержание, %
Влага	70,17±3,66
Жир	9,02±1,86
Белок	19,75±0,85 ¹
Зола	1,06±0,07
<i>Примечание.</i> ¹ Найден как результат умножения разности (ОА-НБА) на коэффициент 6,25.	

Характеристика условий эксперимента приведена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика условий эксперимента по обоснованию рациональных режимов посола филе форели радужной

Table 2

Characteristics of the experimental conditions for the justification of rational salting regimes for rainbow trout fillets

Способ посола	Инъектирование рассолом без добавления ФПГПКС (контроль)	Инъектирование рассолом с добавлением ФПГПКС (вариант № 1)	Инъектирование рассолом без добавления ФПГПКС (вариант 2)
Характеристика раствора для инъектирования филе (рассола)	Плотность 1,15 г/см ³ , концентрация соли 19,5 %; концентрация консерванта 1 %; температура минус 2±1 °С	Плотность 1,15 г/см ³ , концентрация соли 19,5 %; концентрация консерванта 1 %; концентрация ФПГПКС 0,04 %; температура минус 2±1 °С	Плотность 1,15 г/см ³ , концентрация соли 19,5 %; концентрация консерванта 1 %; температура минус 2±1 °С
Способ досаливания	Сухая кристаллическая соль		Тузлук плотностью 1,04 г/см ³ , концентрация соли 5,2 %; концентрация ФПГПКС 0,04 %; температура минус 2±1 °С
Характеристика способа досаливания	Навеска соли рассчитана с учетом соли, проникшей в толщу филе с рассолом в процессе инъектирования, и достижения солености готовой продукции 4,0 %		—
Температура процесса (посол, досаливание, созревание, хранение)	6±2 °С		

Следует указать на то, что при изготовлении деликатесной малосоленой продукции из лососевых рыб, характеризующихся соленостью от 4,0 до 6,0 %, посол носит преимущественно вкусовой характер и не формирует сколь-нибудь значимого консервирующего эффекта в рыбе. По этой причине в состав рассола для инъектирования рыбы вводят консервант (бензоат натрия и сорбат калия), а для снижения риска микробиологической порчи и окислительной порчи жировой компоненты продукции применяют вакуумирование и низкотемпературное хранение. К основным преимуществам посола инъектированием филе лососевых рыб относят высокий выход продукции и ее превосходные органолептические свойства. На рис. 3 приведены результаты изучения влияния способа посола и досаливания филе форели радужной на выход малосоленой продукции.

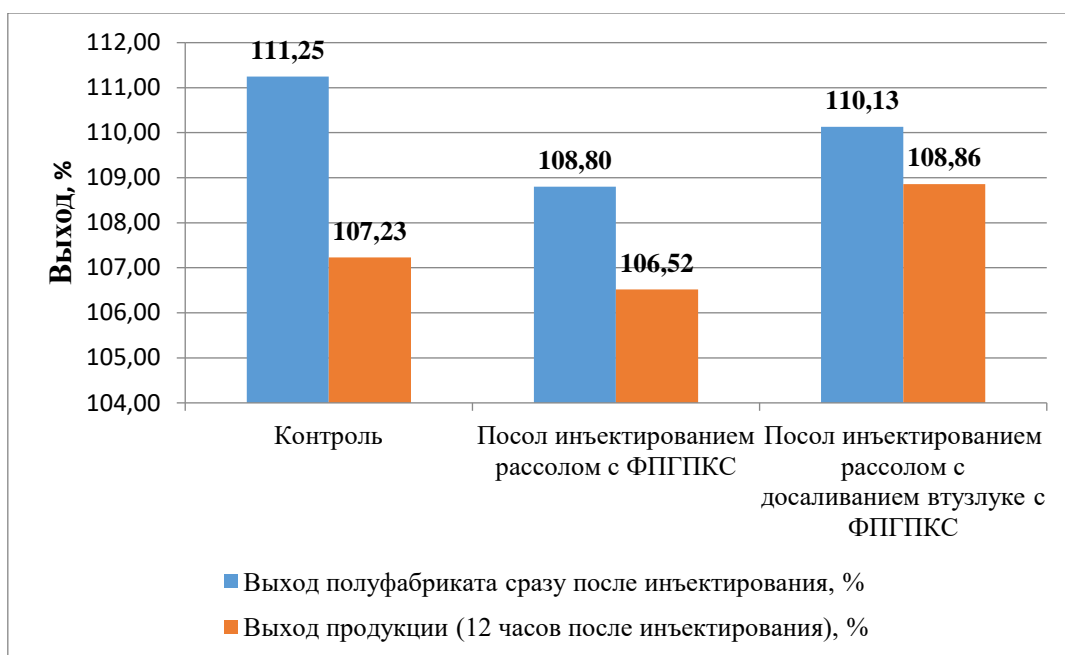


Рис. 3. Влияние способа посола и досаливания на выход готовой продукции. Составлено авторами
 Fig. 3. The effect of the complex methods of salting on the output of finished products.
 Compiled by the authors

Как следует из рис. 3, способ досаливания, как и наличие созревателя в составе рассола для инъектирования филе, не оказывает существенного влияния на выход продукции, отмечаемая разница близка по величине к величине доверительного интервала измерений ($\pm 2\%$, при $P=0,80$, число измерений не менее 10).

На рис. 4–6 представлены результаты исследования кинетики средней солености филе-куска форели радужной в процессе посола, созревания и низкотемпературного хранения.

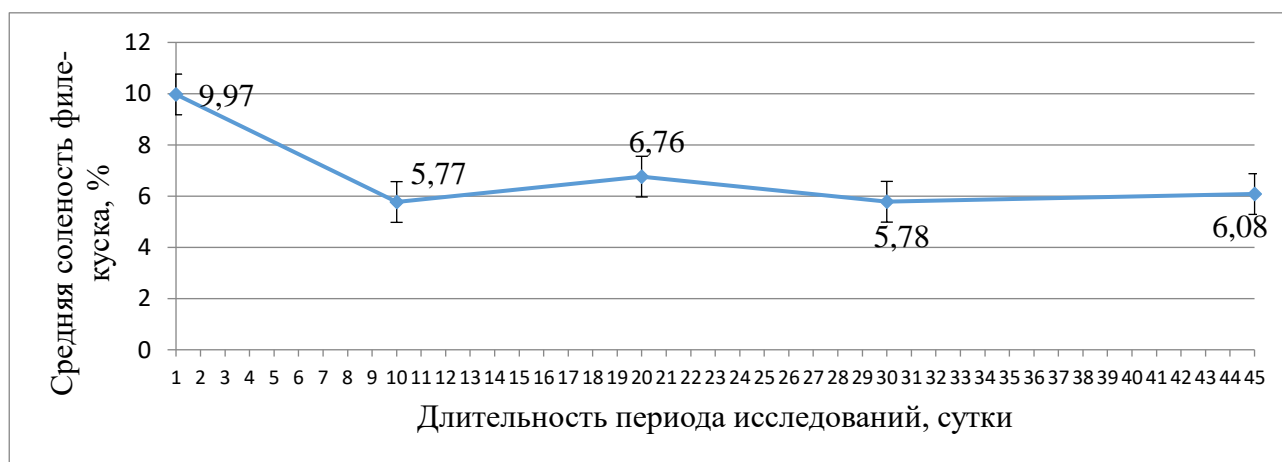


Рис. 4. Кинетика средней солености филе-куска форели радужной (контроль) в процессе посола, досаливание сухой кристаллической солью.
 Составлено авторами

Fig. 4. Kinetics of the average salinity of a fillet of rainbow trout (test piece) in the process of salting (with completing the process with dry crystalline salt). Compiled by the authors

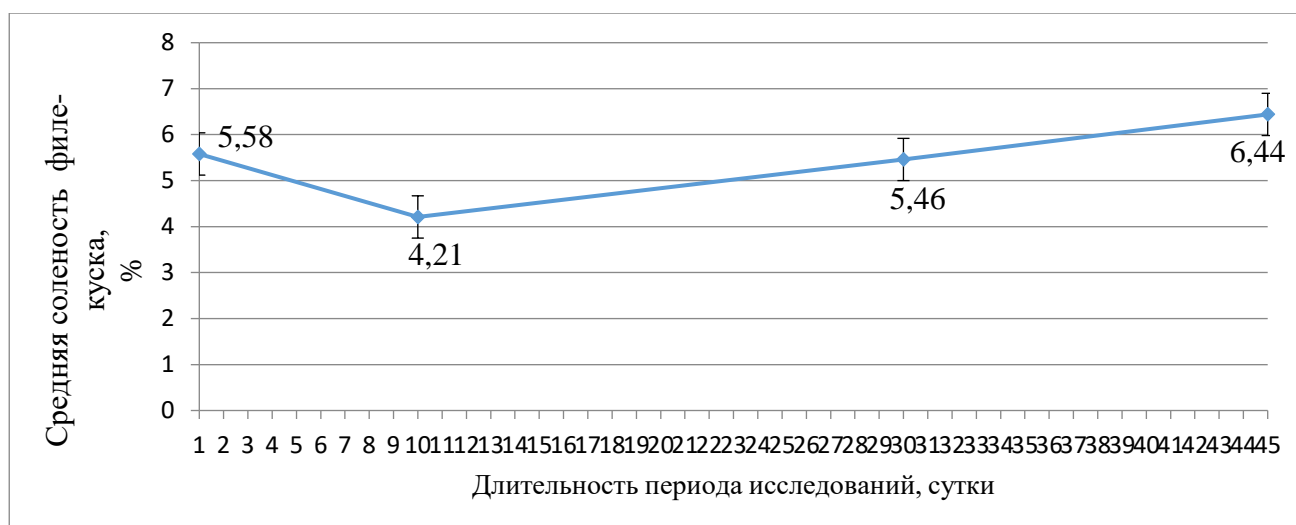


Рис. 5. Кинетика средней солености филе-куска форели радужной (посол инъектированием рассолом, в который добавлен ФППКС) в процессе посола, досаливание сухой кристаллической солью. Составлено авторами

Fig. 5. Kinetics of the average salinity of a fillet of rainbow trout (injection with brine, to which EPCO is added + completing salting with dry crystalline salt) during the salting process. Compiled by the authors

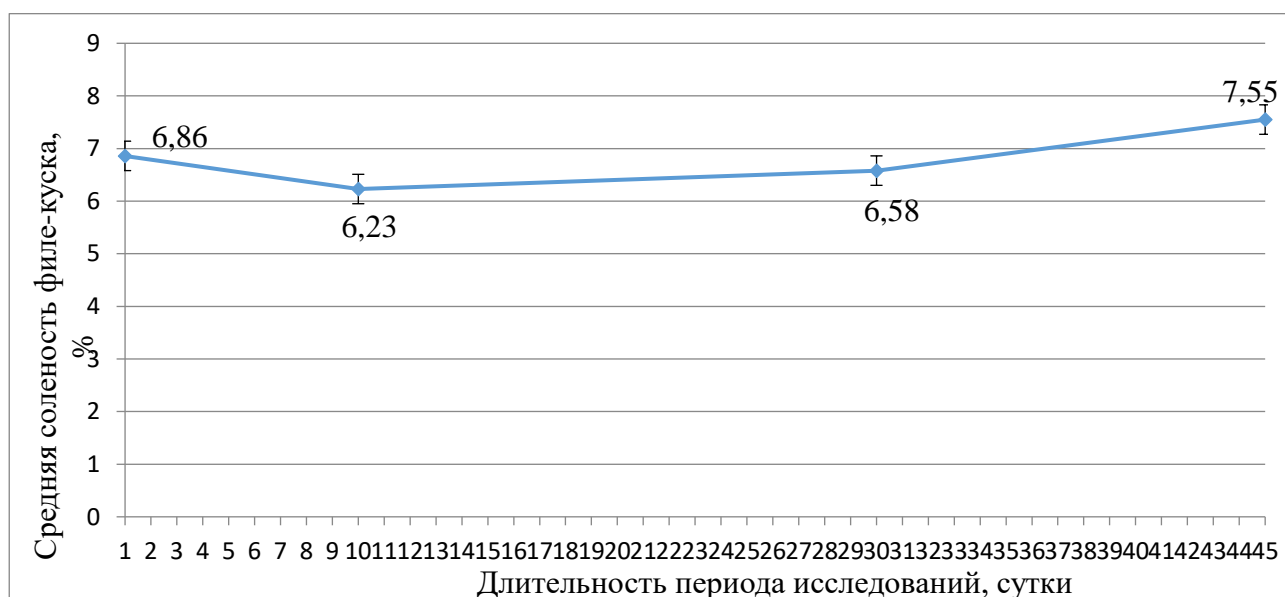


Рис. 6. Кинетика средней солености филе-куска форели радужной (посол инъектированием рассолом) в процессе посола, досаливание в тузлуке, в который добавлен ФППКС. Составлено авторами

Fig. 6. Kinetics of the average salinity of a fillet of rainbow trout (with brine injection) in the salting process, salting in brine, to which EPCO is added. Compiled by the authors

Высокие значения солености в фоновой точке на рис. 4–5 объясняются наличием высокого потенциала массы соли в поверхностном слое филе-куска в результате досаливания рыбы сухой кристаллической солью, равномерно распределяемой по поверхности филе. Аналогичная картина наблюдается при досаливании филе в тузлуке с высокой концентрацией соли (рис. 6).

Анализируя изменения средней солености опытных образцов форели, можно сделать вывод о единовременном введении заданного по условиям посола количества поваренной соли при инъектировании рассолом и дальнейшем перераспределении этого количества в толще филе, во взаимодействии с источником потенциала массы соли в виде кристаллической соли и соли в тузлуке при досаливании филе. Характер кинетической зависимости при посоле в присутствии созревателя отличается от контроля, в котором посол осуществляли без созревателя. Как следует из рис. 5–6, диффузионный перенос соли в толще филе продолжается практически до окончания периода хранения продукции с достижением максимума значения средней солености к окончанию хранения. Очевидно, это является следствием более активных биохимических процессов – гидролизных изменений белка мышечной ткани рыбы под воздействием созревателя и увеличения площади диффузии в результате изменения пространственной структуры белковых молекул, уменьшения их водосвязывающей способности, что влечет изменение морфологии мышечной ткани. Данный вывод не противоречит исследованиям Ершова–Димовой [9] и Варвариной–Харенко [11].

В табл. 3–4 представлены результаты расчета удельной интенсивности насыщения солью тканей рыбы и определения градиента концентрации соли выбранными способами.

Таблица 3

Удельная интенсивность насыщения поваренной солью филе-куска форели радужной при посоле

Table 3

The specific intensity of saturation of a fillet of rainbow trout with salt in the process of salting

Продолжительность посола, сут	Значение удельной интенсивности насыщения рыбы солью ¹ , г/(м ² ·с)	
	левая граница	правая граница
Контроль		
10-е	–	$4,15 \cdot 10^{-5}$
20-е	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$8,01 \cdot 10^{-6}$
30-е	–	$8,26 \cdot 10^{-6}$
45-е	$1,35 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^{-6}$
Посол инъектированием рассолом с добавлением ФППК, досаливание сухой солью		
10-е	–	$9,12 \cdot 10^{-6}$
20-е	–	–
30-е	–	$1,19 \cdot 10^{-6}$
45-е	–	$6,13 \cdot 10^{-6}$
Посол инъектированием рассолом, досаливание в тузлуке с добавлением ФППК		
10-е	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$3,57 \cdot 10^{-6}$
20-е	–	–
30-е	$2,00 \cdot 10^{-6}$	$5,34 \cdot 10^{-6}$
45-е	$5,61 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-6}$

Примечание. ¹ Данные по границам могут отсутствовать в связи с невозможностью построения касательных в точках границ для определения методом графического дифференцирования градиента концентрации поваренной соли в рыбе, что имеет место при линейном распределении соли в толще филе-куска; отсутствие данных о градиенте концентрации на границе распределения соли по толщине филе-куска делает нецелесообразным определение величины удельной интенсивности распределения соли в рыбе для последующего расчета коэффициента диффузии соли в рыбе.

Таблица 4

Градиент концентрации поваренной соли в форели радужной филе-кусоч при посоле

Table 4

The concentration gradient of salt in pieced rainbow trout fillet in the process of salting

Продолжительность посола, сут	Значение градиента концентрации соли ¹ , $Grad C_{NaCl}$	
	левая граница	правая граница
Контроль		
1-е (фон)	333,33	727,27
10-е	–	33,33
20-е	123,08	121,74
30-е	–	53,33
45-е	75,00	33,33
Посол инъектированием рассолом с добавлением ФППК, досаливание сухой солью		
1-е (фон)	44,44	33,33
10-е	–	36,67
20-е	–	–
30-е	146,67	144,44
45-е	–	33,33
Посол инъектированием рассолом, досаливание в тузлуке с добавлением ФППК		
1-е (фон)	1120,00	800,00
10-е	166,67	163,60
20-е	–	–
30-е	153,33	280,00
45-е	173,33	73,68

*Примечание.*¹ Данные по границам могут отсутствовать в связи с невозможностью построения касательных в точках границ для определения методом графического дифференцирования величины градиента концентрации поваренной соли в рыбе, что имеет место при линейном распределении соли в толще филе-куска.

В табл. 5 приведены результаты расчета коэффициента диффузии соли в мясе форели радужной (филе-кусоч) при посоле выбранными способами.

Таблица 5

Коэффициент диффузии соли в рыбе

Table 5

Salt diffusion coefficient in fish

Продолжительность посола, сут	Значение коэффициента диффузии соли, m^2/c	
	левая граница	правая граница
Контроль		
10-е	–	$2,62 \cdot 10^{-10}$
20-е	–	–
30-е	–	$8,67 \cdot 10^{-12}$
45-е	–	$1,94 \cdot 10^{-10}$
Посол инъектированием рассолом с добавлением ФППК, досаливание сухой солью		
10-е	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$2,30 \cdot 10^{-11}$
30-е	$1,37 \cdot 10^{-11}$	$2,00 \cdot 10^{-11}$
45-е	$3,41 \cdot 10^{-11}$	$1,86 \cdot 10^{-11}$

Посол инъектированием рассолом, досаливание в тузлуке с добавлением ФПГПКС		
10-е	–	$1,31 \cdot 10^{-9}$
20-е	$5,24 \cdot 10^{-11}$	$6,93 \cdot 10^{-11}$
30-е	–	$1,63 \cdot 10^{-10}$
45-е	$1,89 \cdot 10^{-11}$	$6,00 \cdot 10^{-11}$

Анализ представленных в табл. 3–5 данных показал, что созреватель оказывает значительное влияние на характер и интенсивность массообменных процессов.

Посол инъектированием филе-куска форели радужной рассолом без добавления ФПГПКС (контроль) характеризуется самыми высокими градиентами соли в толще филе-куска, несимметричными со стороны мяса и со стороны кожи.

Большие значения градиентов массы соли в рыбе со стороны мяса по сравнению со значениями показателя со стороны кожи (с оставленной чешуей) объясняются лучшей проницаемостью и большим влагосодержанием мяса рыбы по сравнению с ее кожей, кроме того, досаливание сухой солью обеспечивает высокое значение потенциала массы соли на поверхности филе, что также способствует формированию высокого градиента вещества. С течением времени происходит постепенное снижение величины градиента концентрации соли в рыбе, что объясняется постепенным выравниванием солености по толщине филе-куска и падением движущей силы массопереноса – разности соленостей в сопряженных слоях мяса рыбы по направлению нормали от поверхностей (со стороны мяса и со стороны кожи с чешуей) к центру куска.

Как следует из табл. 5, в процессе посола, созревания и хранения форели значение коэффициента диффузии в контрольном опыте изменяется – снижается на два порядка от первых суток к 30-м, после чего вновь нарастает к 45-м суткам хранения, что, в условиях постоянства температуры хранения продукции, является следствием биохимических изменений в тканях рыбы и коррелирует с изменением средней солености филе-куска. Данная картина переноса соли соответствует литературным данным, согласно которым снижение средней солености филе влечет за собой уменьшение коэффициента диффузии в первый период посола, затем по мере повышения проницаемости тканей филе в результате биохимических изменений и роста средней солености коэффициент диффузии также увеличивается [9]. Картина переноса соли в толще филе-куска форели радужной, посоленного способом инъектирования рассолом с ФПГПКС, отличается от других исследованных способов. Так, величина коэффициента диффузии незначительно колеблется и остается практически постоянной в процессе посола, созревания и хранения филе форели, а значения градиентов концентрации соли в рыбе незначительно различаются на границах – со стороны мяса рыбы и со стороны кожи рыбы (с оставленной чешуей) – и численно меньше по сравнению с остальными вариантами посола. Очевидно, что на характер переноса соли повлияли глубокие биохимические изменения в мясе форели под воздействием созревателя. Характер диффузии соли в мясе форели радужной при посоле инъектированием рассолом и последующим досаливанием в тузлуке с добавлением ФПГПКС аналогичен характеру процесса, описанному для контрольного варианта, из чего следует вывод, что непродолжительный контакт с тузлуком, в составе которого ФПГПКС, не оказывает значимого влияния на перенос соли в рыбе.

На рис. 7–9 представлены результаты исследования биохимических изменений в мясе форели радужной в зависимости от способа посола.

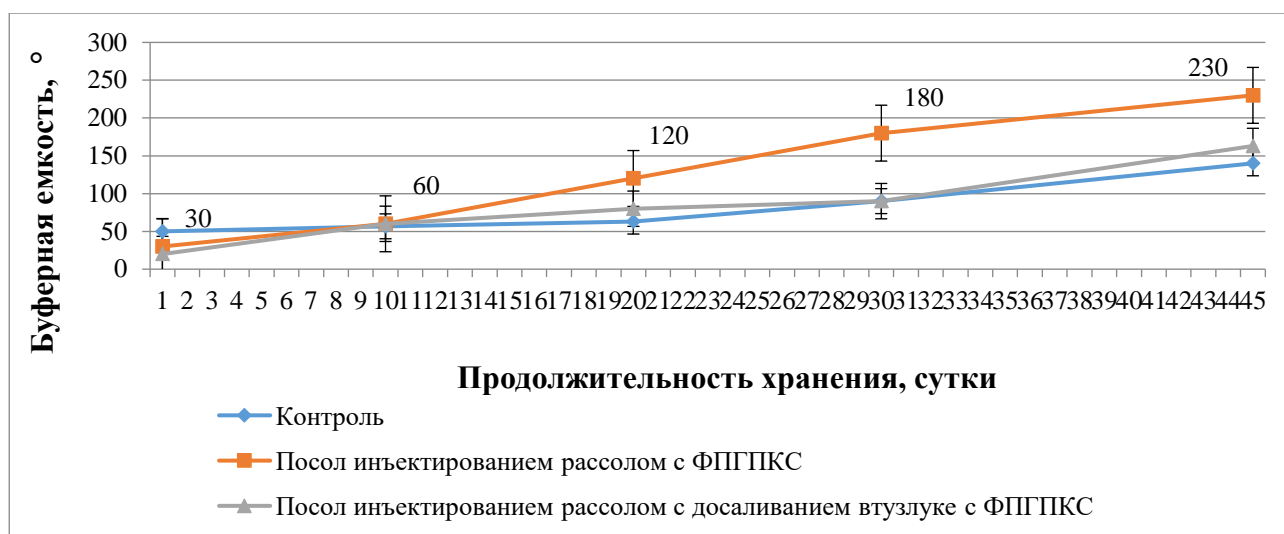


Рис. 7. Влияние способа посола на показатель буферной емкости (буферности) готовой продукции.

Составлено авторами

Fig. 7. The effect of the salting method on the buffer capacity of the finished product.

Compiled by the authors

Из рис. 7 видно, что посол инъектированием не изменяет характер созревания рыбы по сравнению с традиционными способами посола – наблюдается плавное нарастание показателя буферности в процессе хранения опытных образцов продукции. В то же время введение в состав рассола для инъектирования рыбы ФПГПКС, обладающего протеолитической активностью при пониженных температурах, оказывает значительное влияние на интенсивность созревания и, как следствие этого, на величину показателя буферности готовой продукции. Так, к 20-м суткам опытные образцы, проинъектированные рассолом с ФПГПКС, имеют показатель буферности на уровне начала активного созревания (120°), а к 30-м суткам хранения (окончание срока годности) характеризуются величиной, соответствующей хорошо созревшей соленой продукции (230°), чего не наблюдается для остальных вариантов посола. Таким образом, из рис. 7 следует, что при посоле инъектированием активная фаза созревания продукции начинается на 10-е сутки ее хранения и завершается к концу срока годности. Буферность контрольных опытных образцов продукции, посоленных инъектированием рассолом без добавления ФПГПКС, имеет наименьшие значения среди рассмотренных способов посола и к концу срока годности (30-е сутки хранения) не достигает значения, свойственного для начала созревания соленой рыбы (около 120° по литературным данным). Как следует из рис. 7, добавление ФПГПКС в тузлук для досаливания полуфабриката после инъектирования не влечет сколь-нибудь значимой активизации процесса созревания, что ставит под вопрос целесообразность такого способа использования ферментного препарата в качестве активатора процесса созревания.

Этот вывод подтверждается результатами исследования показателя общей кислотности филе форели в процессе посола, созревания и хранения (рис. 8).

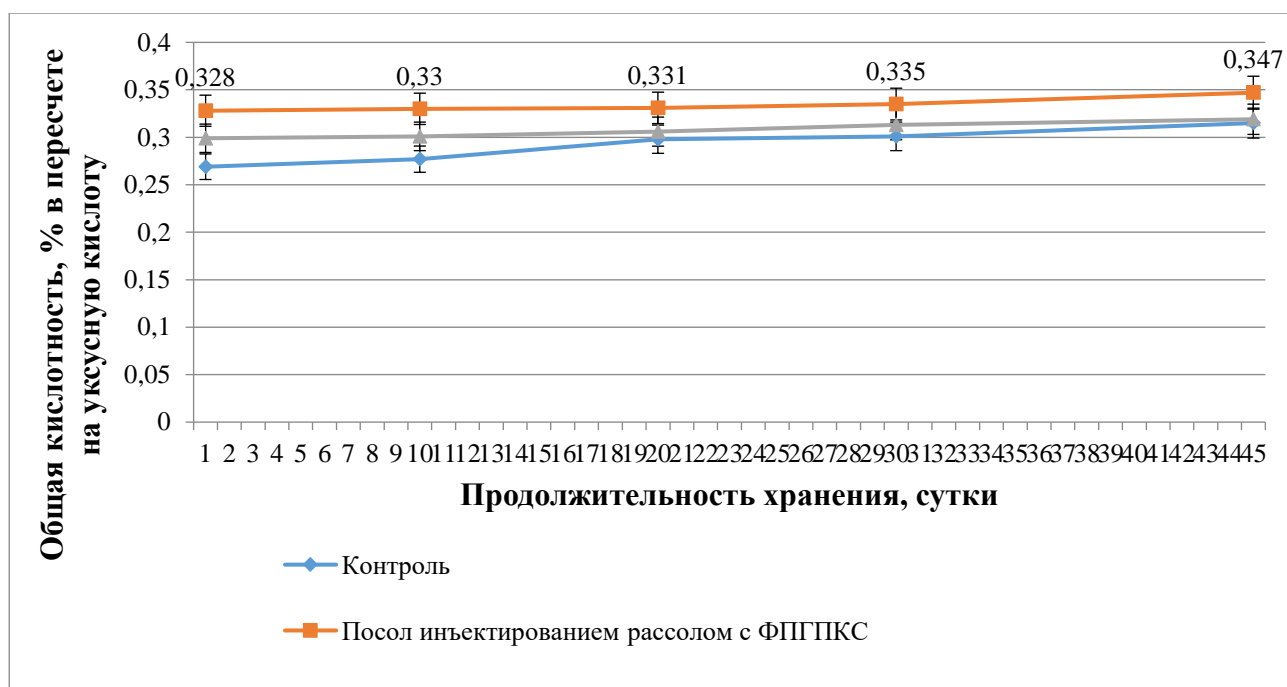


Рис. 8. Влияние способа посола на показатель общей кислотности готовой продукции.
Составлено авторами

Fig. 8. The effect of the salting method on the total acidity of the finished product.
Compiled by the authors

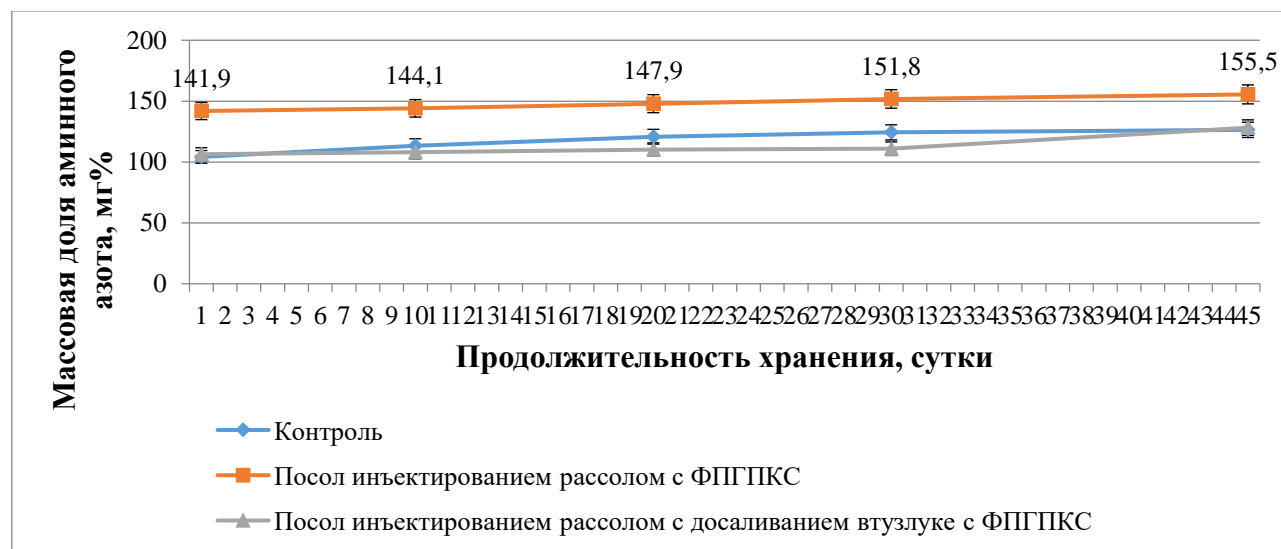


Рис. 9. Влияние способа посола на показатель массовой доли аминного азота в готовой продукции.
Составлено авторами

Fig. 9. The effect of the salting method on the mass fraction of amine nitrogen in the finished product. Compiled by the authors

Массовая доля аминного азота (АА) наряду с буферностью является общепринятым для косвенной оценки степени созревания соленой рыбы [12, 13]. Как видно из рис. 9, введение ФППКС в рассол для инъектирования филе форели активизирует протеолиз и в целом процесс созревания. Так, нарастание значения массовой доли АА при этом способе посола

наблюдается в диапазоне от 141,9 мг% в 1-е сутки после посола до 155,5 мг% на 45-е сутки хранения. В то же время максимальные достигнутые значения показателя для контрольных опытных образцов, посоленных после инъектирования в тузлуке с добавлением ФППКС, не превышают 130 мг%.

Комплексные биохимические процессы, протекающие в рыбе при посоле и созревании, напрямую формируют органолептические свойства деликатесной продукции. На рис. 10 приведены результаты органолептической оценки опытных образцов готовой продукции по разработанной пятибалльной шкале

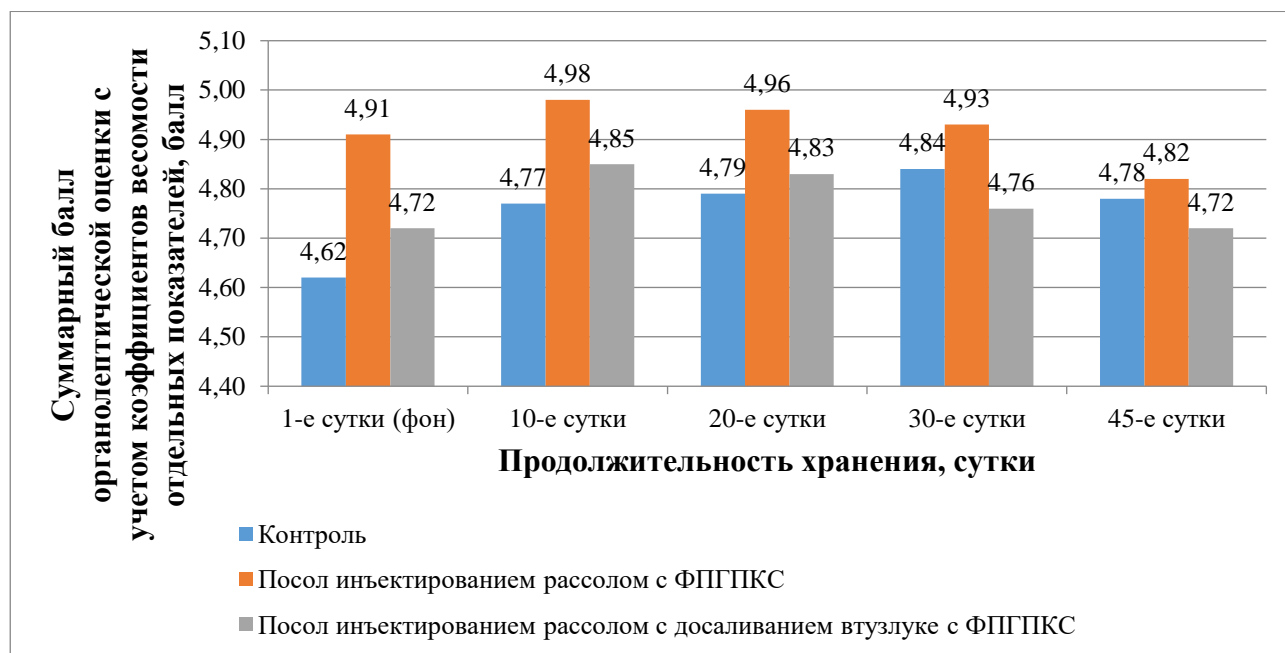


Рис. 10. Влияние способа посола на органолептическую оценку готовой продукции.

Составлено авторами

Fig. 10. The effect of the salting method on the organoleptic evaluation of finished products.

Compiled by the authors

Из рис. 10 следует, что отсутствует сколь-нибудь значимая разница в оценке дегустаторами контрольных опытных образцов и опытных образцов, посоленных инъектированием рассолом с последующим досаливанием в тузлуке с добавлением ФППКС. Характер органолептических изменений в продукции, посоленной способом инъектирования рассолом, в который добавлен ФППКС, в целом совпадает с характером изменений в двух других вариантах посола, однако опытные образцы, проинъектированные рассолом, содержащим созреватель, достигали уже к 10-м суткам хранения органолептической оценки, близкой к максимально возможной (характеристика эталона), по другим вариантам посола – к 20-м и даже к 30-м суткам хранения.

Заключение

Предварительные выводы, которые можно сделать на основании полученных результатов экспериментальных исследований посола филе форели радужной, следующие.

1. Посол инъектированием обеспечивает более равномерное распределение поваренной соли по толщине филе рыбы, в котором практически сразу достигается требуемая соленость. Изменение градиентов концентрации соли в филе в процессе посола, созревания и хранения обусловлено созданием дополнительного источника потенциала массы соли вследствие

досаливания филе сухой кристаллической солью или тузлуком, а также влиянием на проводимость тканей филе биохимических изменений.

2. Добавление созревателя ФППКС в рассол для инъектирования филе лососевых рыб приводит к существенной интенсификации процесса созревания и, как следствие, к улучшению потребительских свойств готовой малосоленой продукции. Так, к 10-м суткам хранения филе форели радужной, посоленное инъектированием рассолом с добавлением ФППКС в концентрации 0,04 %, достигала органолептической оценки, близкой к максимально возможной (4,98 по 5-тибалльной шкале), в то время как по другим вариантам посола сопоставимая оценка была достигнута только к 20-м суткам хранения и даже к окончанию срока годности (30-е сутки).

3. Объективная оценка массообменных процессов и процесса созревания в толще филе форели радужной при посоле инъектированием рассолом и последующим досаливанием в тузлуке с добавлением ФППКС в концентрации 0,04 % показала, что данный способ является неэффективным для достижения улучшенных потребительских свойств деликатесной продукции, а также для сокращения длительности производственного цикла, его применение в производственной практике нецелесообразно, так как приведет к дополнительным издержкам на приобретение созревателя ФППКС и при этом не приведет к достижению цели улучшения качества малосоленой продукции.

4. По результатам проведенных исследований обоснованы рациональные режимы посола филе форели радужной (с кожей, с оставлением чешуи) – инъектирование рассолом с плотностью 1,15 г/см³, концентрация консерванта в рассоле (бензоата натрия и сорбата калия) 1 %, концентрация созревателя натурального происхождения ФППКС 0,04 %, температура рассола минус 2±1 °С, величина гидромодуля, обеспечиваемая при инъектировании 9±2 %, досаливание филе до требуемой солености осуществлять сухой кристаллической солью.

Список источников

1. Михайличенко, Д. Анализ рынка лососевых и пятилетний прогноз производства и потребления / Д. Михайличенко, В. Пополитов // Рыбоводы.РФ Рыбпром: все про рыбный бизнес : сайт. URL : <https://xn--90acg2bbi1ff.xn--p1ai/news/19-rybovodstvo/445-strizh> (дата обращения : 20.08.24).

2. Салтанова, Н. С. Современные тенденции производства соленой продукции из гидробионтов / Н. С. Салтанова, М. В. Благодирова // Вестник КамчатГТУ. 2012. № 20. С. 67–74.

3. Шкуратова, Е. Б. Разработка технологии деликатесной подкопченной продукции из тресковых рыб с использованием ферментного препарата из гепатопанкреаса краба-стригуна *Chionoecetes opilio* / Е. Б. Шкуратова, Ю. В. Шокина, В. А. Мухин // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79, № 2. С. 126–137. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-126-137.

4. Сарапкина, Косенко О. В., Белоусова С. В. Методы регулирования процесса созревания соленой рыбной продукции // Изв. вузов. Пищевая технология. 2012. № 2–3. С. 9–12.

5. Салтанова Н. С. Изменения белковых веществ сельди тихоокеанской при использовании нового способа биохимического созревания // Вестник ТГЭУ. 2012. № 3. С. 98–105.

6. Jun J. Y. и др. Postmortem changes in physiochemical and sensory properties of red snow crab (*Chionoecetes japonicus*) leg muscle during freeze storage // Fisheries and Aquatic Sciences. 2017. Т. 20, №. 1. С. 13.

7. Kim B. M. et al. The quality characteristics and processing of fish paste containing red snow crab *Chionoecetes japonicus* leg-meat powder // Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2016. Т. 49, №. 1. С. 1–6.

8. Мухин В. А., Лыжов И. И. Влияние температуры и pH на активность протеиназ из гепатопанкреаса краба-стригуна *Chionoecetes opilio* // Рыбное хозяйство. 2013. № 3. С. 105–107.
9. Димова В. В. Закономерности процесса диффузии соли в мясе рыбы при посоле в тузлуке. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1996. 19 с.
10. Шокина Ю. В. Практикум по общей технологии и научным основам производства продуктов питания : учеб. пособие. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. 152 с.
11. Варварина, Д. К. Изменение структуры мышечной ткани лососевых рыб при посоле шприцеванием / Д. К. Варварина, Е. Н. Харенко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 2. С. 12–17.
12. Шендерюк В. И. Производство слабосоленой рыбы. М. : Пищ. пром-сть, 1976. 175 с.
13. Абрамова, Л. С. Объективный показатель биохимических процессов созревания филе сельди малосоленого / Л.С. Абрамова, Е.П. Гофербер // Изв. КГТУ. 2017. № 47. С. 73–79.

Сведения об авторах

- Е. В. Лукина – аспирант.
П. В. Антонов – магистрант.
И. Е. О. Левшина – магистрант.
Е. Б. Шкуратова – кандидат технических наук, начальник научно-организационного отдела.
К. С. Рысакова – кандидат технических наук, заведующая лабораторией химико-аналитических исследований.
Ю. В. Шокина – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий пищевых производств.

Information about the authors

- E. V. Lukina – Postgraduate student.
P. V. Antonov – Master's degree student.
I. E. O. Levshina – Master's degree student.
E. B. Shkuratova – PhD in Technical Sciences, Head of the Scientific and Organizational Department.
K. S. Rysakova – PhD in Technical Sciences, Head of the Laboratory of Chemical and Analytical Research.
Yu. V. Shokina – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Production Technologies.

Статья поступила в редакцию 24.09.2024; одобрена после рецензирования 01.10.2024; принята к публикации 01.10.2024.

The article was submitted 24.09.2024; approved after reviewing 01.10.2024; accepted for publication 01.10.2024.