



БИОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ *FURCELLARIA LUMBRICALIS* И БЕЗДЫМНОЙ КОП- ТИЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО КОПЧЕНИЯ РЫБЫ

Н.В. Самбурская,
студентка 4-го курса ИАПС,
e-mail: nadyasamburskaya@outlook.com

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

О.Я. Мезенова, д-р. техн. наук, профессор,
e-mail: mezenova@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Проведен анализ специальной литературы в области биопотенциала и использования красной водоросли *Furcellaria lumbricalis*. Изучен физико-химический состав водоросли и бездымной коптильной среды «Жидкий дым Костровок». Проведены модельные эксперименты по получению рыбы горячего копчения путем ее обработки водорослево-коптильным биогелем. Исследована органолептическая оценка и содержание фенольных веществ, аминокислот, каротиноидов, лютеина, витаминов в копченой рыбе. Доказана безопасность биогеля и копченой рыбы по содержанию полициклических ароматических углеводородов и тяжелых металлов.

Ключевые слова: бездымное копчение, красные водоросли *Furcellaria lumbricalis*, ПАУ, Балтийское море, биопотенциал, коптильная среда, экологичность

ВВЕДЕНИЕ

Морские водоросли – древнейшие представители растительного мира, биопотенциал которых активно используется многими странами для пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. Наибольшую биологическую ценность представляет полисахарид водоросли – каррагинан (добавка Е-407), который в пищевой промышленности находит применение в качестве натурального стабилизатора и загустителя [1]. Растет спрос и на функциональные продукты питания на основе водорослей, позволяющие населению заниматься профилактикой болезней и поддерживать здоровье. Остается актуальным основной вопрос безопасности пищевой продукции, что обуславливает приоритетность технологий бездымного копчения перед дымовым. Представляет научный интерес исследование совместного применения функциональных потенциалов экстракта красных водорослей и экологически безопасной бездымной коптильной среды в технологии копчения рыбы. При этом в качестве ожидаемого эффекта возможно повышение адгезионных свойств новой бездымной коптильной среды, улучшение ее красящего эффекта при уменьшении расхода, а также повышение консервирующих свойств, биологической ценности и безопасности копченой рыбной продукции.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высушенные красные водоросли Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis*, собранные у мыса Таран (пос. Донское, Калининградская область), бездымная коптильная среда «Жидкий дым Костровок», водорослево-коптильный биогель, треска бездымного горячего копчения.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования являлось получение биогеля на основе экстракта красных морских водорослей и бездымной коптильной среды и изучение получения с его применением рыбного продукта горячего копчения.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Изучить химический состав красных водорослей Балтийского моря.
2. Получить новую бездымную коптильную среду в форме биогеля на основе водорослевого экстракта и коптильного препарата, исследовать ее свойства.
3. Изучить способность гелевой коптильной среды формировать заданные свойства в технологии горячего копчения рыбы;
4. Исследовать показатели качества и безопасности готовой копченой рыбы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные эксперименты проводились в исследовательско-консультационной лаборатории UBF GmbH, г. Альтландсберг (Германия) в период с июля по сентябрь 2022 года. Методы, использованные в работе, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Перечень определяемых показателей качества в коптильном геле и копченой рыбе

Номер п/п	Название показателя	Номер нормативного документа ЕС (SOP)	Краткое описание сущности методики	Образец для исследования
1	Металлы (в т.ч. тяжелые)	3.IV.42_0	Добавление HNO ₃ 65 %, разложение образца, ААС и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой	Красная водоросль, рыбный продукт бездымного копчения
2	Аминокислоты	IV.42	Добавление 32%-го р-ра HCl, разложение образца в микроволновой печи, нейтрализация KOH(aq), ВЭЖХ и МС	Рыбный продукт бездымного копчения
3	Фенолы	3.IV.18	Добавление фолинового реагента, 0,5 моль/л NaOH и H ₂ O (дист), фотометр	Жидкий дым «Костровок», рыбный продукт бездымного копчения

Номер п/п	Название показателя	Номер нормативного документа ЕС (SOP)	Краткое описание сущности методики	Образец для исследования
4	Каротиноиды	3.IV.16	Встряхивание в делительной воронке с петролейным эфиром, встряхивание эфирной фазы с H ₂ O (дист) до нейтральной среды, фотометр	Красная водоросль, готовый рыбный продукт бездымного копчения
5	Водорастворимые витамины	3.IV.07	ВЭЖХ с мобильной фазой – вода/ацетонитрил/уксусная кислота (255/45/3 мл)	Готовый рыбный продукт бездымного копчения
6	Жирорастворимые витамины	3.IV.02	Встряхивание в делительной воронке с петролейным эфиром, встряхивание эфирной фазы с H ₂ O (дист) до нейтральной среды, ВЭЖХ с мобильной фазой изооктан/ этилацетат	Готовый рыбный продукт бездымного копчения
7	Полициклические ароматические углеводороды	3.IV.33_2	Гидролиз жиров в диметилформамидной воде DMF/H ₂ O (9:1), экстракция с циклогексаном, очищение через силикатный гель, ВЭЖХ	Жидкий дым «Костровок», водорослевый экстракт с жидким дымом, рыбный продукт бездымного копчения
8	Сырая клетчатка Липиды Моно- и дисахара Сухая масса Вода	3.Ш.08 3.Ш.10.1 3.Ш.04 3.Ш.03_1 3.Ш.01	Вакуумный насос Аппарат Сокслета Методика Luff/Schoorl Анализатор белка Gerhardt Высушивание в муфельной печи	Красная водоросль, рыбный продукт бездымного копчения

Технологическая схема получения копченого бездымным способом рыбного продукта заключалась в последовательном проведении следующих операций:

1. Промывка и замачивание красных водорослей в воде при T=20-25°C, 2 ч.;
2. Измельчение набухших водорослей в электрическом гомогенизаторе или механическим способом до однородности;
3. Смешивание измельченных водорослей и воды в соотношении 1:13;
4. Экстрагирование на ультразвуковой ванне T=85°C, 2-4 ч.;

5. Фильтрация экстракта и охлаждение до $T=30-60^{\circ}\text{C}$;
6. Добавление к готовому экстракту коптильного препарата «Костровок» в соотношении 2:1;
7. Окунение кусочков филе атлантической трески в полученную коптильную композицию на 1-2 с и подвешивание рыбы в вертикальном положении для подсушки;
8. Обработка горячим воздухом 30-40 мин при $T= 110-130^{\circ}\text{C}$ при постоянной циркуляции [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большую часть массы измельченных и высушенных красных водорослей *Furcellaria lumbricalis* составляет сухая органическая масса (81,95% от общего объема).

Содержание запасного вещества красных водорослей – багрянкового крахмала, который образуется лишь у представителей класса Florideophyceae, составляет 1,84 г/100г. Также в составе водорослей фотометрически были найдены каротиноидные пигменты, среди которых можно выделить лютеин (1,7 мг/100 г) и каротиноиды (1,8153 мг/100 г).

Результаты по определению энергетической ценности водоросли *Furcellaria lumbricalis* представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели химического состава и энергетическая ценность водоросли Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis*

Наименование показателя	Массовая доля
Белки	23,32
Жиры	0,34
Углеводы, в т.ч.	58,58
Моно- и дисахара	0,43
клетчатка	7,52
Вода	18,05
Энергетическая ценность 100 г, ккал	16

Общее содержание минеральных веществ в водоросли составляет 2,62 г/100 г. Наиболее подробно качественный состав минералов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Минеральные вещества красной водоросли Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis*

Наименование минерального вещества	Содержание, мг/100 г
Ca	1104,6
Zn	6,0
Mn	23,5
Na	215,4
K	518,8

Окончание таблицы 3

Наименование минерального вещества	Содержание, мг/100 г
Mg	688,9
Cr	0,1
Cu	1,7
I	58,1
Тяжелые металлы	
Pb	0,1
Cd	0,017
As	0,362
Hg	0,001

Из данных таблицы 3 следует, что водоросль богата минеральными веществами, прежде всего магнием, калием, натрием, марганцем и йодом, что позволяет рекомендовать ее использование для получения обогащенной продукции по данным веществам [3].

В слоевищах морских водорослей зачастую идет накопление тяжелых металлов, предельные нормы содержания которых в пищевых продуктах прописаны в техническом регламенте (ТР ЕАЭС 040/2016). Как показывают полученные данные, превышения допустимой нормы в исследуемой водоросли не наблюдалось.

Анализируя полученные значения, можно сделать вывод, что красные водоросли Балтийского моря являются безопасным сырьем по содержанию тяжелых металлов и ценным сырьем по содержанию биологически активных веществ (минеральных компонентов, каротиноидов и астаксантиновых веществ с антиоксидантными свойствами). Это позволяет рекомендовать к пищевому использованию водорослевые водные экстракты.

Безопасность образцов также предусматривала проведение анализа на обнаружение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся при копчении, особенно дымовым способом. В ТР ЕАЭС 040/2016 нормируется содержание бен(а)пирена в копченых продуктах – не более 0,005 мг/кг [5]. В водорослевом экстракте и готовом рыбном продукте горячего копчения основные ПАУ (бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бенз(а)антрацен, хризен) отсутствовали, что свидетельствует о безопасности данной продукции по данному показателю.

Определение содержания каротиноидов показало, что в готовом продукте они содержатся в количестве 0,25 мг/100 г., при этом уровень лютеина (ксантофилловый пигмент) составлял 1,4 мг/100 г. Оба данных вещества являются не только антиоксидантами, но и пищевыми красителями. В составе копильной среды они сообщают готовому продукту консервирующий эффект и, проникая в толщу мышечной ткани рыбы, усиливают насыщенность коричневато-оранжевыми оттенками. В свою очередь, приятные и характерные для копченостей вкус и аромат сообщает продукту фенольная фракция [6]. Общее количество фенолов в чистом жидком препарате «Костровок» составляло 1,61 г/100 г, а в копченном рыбном продукте – 2,7 мг/100 г. Данные значения согласуются с литературными и позволяют констатировать обеспечение бактерицидных и антиокислительных свойств у копченой рыбы, а также ее повышенную потенциальную хранимоспособность [7].

В результате анализов установлено повышенное содержание водорастворимых витаминов В₁ 1,8 мг/100 г (по МР 2.3.1.0253-21 суточная потребность составляет 1,5 мг/сут.) и В₂ 0,6 мг/100 г (соответственно 1,8 мг/сут.). Примечательно то, что после нанесения копильно-

го биогеля на поверхность филе трески и тепловой обработки, в результате которой были потери тканевой жидкости, содержание витамина В₁ увеличилось в два раза по сравнению с исходным сырьем (0,9 мг/100 г). Из макроэлементов можно подчеркнуть повышенное содержание Na в готовом продукте (82 мг/100 г), R (398,7 мг/100 г), Mg (35,4 мг/100 г) и Ca (84,5 мг/100 г), при этом тяжелые металлы (Cd, Pb, As, Hg) не обнаружены.

Результаты оценки основных физико-химических показателей трески горячего бездымного копчения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели качества и энергетической ценности копченого рыбного продукта

Наименование показателя	Массовая доля	ТР ЕАЭС 040/2016
Белки	22,70	Не менее 13 г
Жиры	0,89	Не более 8 г
Углеводы, в т.ч. моно- и дисахара	1,32 0,12	Не более 5 г
Вода	75,99	Не более 83%
Энергетическая ценность 100 г, ккал	104	Не более 90-130 ккал

Аминокислотный состав экспериментального образца рыбы горячего копчения представлен 16 аминокислотами с преобладанием незаменимых аминокислот – валина (2,17 г/100 г), лейцина (3,62 г/100 г), лизина (2,57 г/100 г), метионина (1,99 г/100 г), фенилаланина (2,25 г/100 г) и таурина (2,86 г/100 г).

Внешний вид полученного копченого продукта из филе-кусочков трески представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид филе-кусочков трески горячего копчения, приготовленной с применением водорослево-копильного биогеля

В результате органолептической оценки в готовом рыбном продукте установлены приятные аромат и вкус копчености, характерный для трески горячего копчения, без посторонних оттенков, нежный привкус проваренной рыбы. Внешний вид: цельные куски рыбы с коричневато-оранжевой окраской, с ровным без повреждений покрытием с характерным блеском; консистенция мягкая, нежная; при разжевывании содержимое легко образует во

рту пищевой комок. При проглатывании кусочков остается приятное послевкусие копчености и натуральный рыбный привкус.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование доказало высокий биопотенциал красных морских водорослей за счет содержания полисахаридов, витаминов, минеральных веществ и пигментов с антиоксидантными и красящими свойствами. На основе водного экстракта водорослей получен копильный биогель с новыми свойствами путем его смешивания с копильным препаратом. Доказана возможность применения полученного водорослево-копильного биогеля для получения рыбы горячего копчения. Готовый рыбный продукт обладает высокими органолептическими характеристиками, имеет высокую пищевую ценность по содержанию копильных и водорослевых функциональных веществ, витаминов и незаменимых аминокислот. Подтверждена безопасность копченой рыбы по содержанию тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панина, О.В. Особенности использования каррагинана в пищевом производстве / О.В. Панина // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: V Международной научно-практической конференции: сборник материалов. – Западно-Сибирский научный центр, 2017. – С. 119-120.
2. Мезенова, О.Я. Технология и методы копчения пищевых продуктов / О.Я. Мезенова. – Санкт-Петербург, изд-во «Перспектива», 2018. – 288 с.
3. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации". Вид документа - Методические документы, Номер - № МР 2.3.1.0253-21 Дата принятия - 22.07.2021.
4. Сушина А. Д, Мезенова О. Я. Исследование получения и применения копильной композиции на основе экстрактов красных водорослей *Furcellaria Lumbricalis* / А. Д. Сушина, О. Я. Мезенова // Вестник Международной академии холода. – 2022. – № 1. – С. 53–60.
5. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» № ТР ЕАЭС 040/2016. – 2012 [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения: 09.09.2022).
6. Подкорытова, А.В. Пигменты и каррагинаны из красных водорослей / А.В. Подкорытова, Т.К. Фан // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. – 2010. – № 3- С.74-78.
7. Мезенова, О.Я. Обогащенные жидкие копильные среды и их применение в пищевой биотехнологии рыбных продуктов / О.Я. Мезенова, В.А. Потапова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 1 (12). – С. 46-53.

BIOGEL BASED ON FURCELLARIA LUMBRICALIS ALGAE AND SMOKE-FREE SMOKING MEDIUM FOR SAFE SMOKING OF FISH

N.V. Samburskaya, student,
e-mail: nadyasamburskaya@outlook.com
Kaliningrad State Technical University

O.Y. Mezenova, Doctor of Engineering, Professor
e-mail: mezenova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The analysis of special literature in the field of biopotential and use of *Furcellaria lumbricalis* red algae has been carried out. The physicochemical composition of the algae and smokeless smoking medium "Kostrovok liquid smoke" has been studied. Model experiments have been carried out to obtain hot-smoked fish by processing it with the algae-smoking biogel. The organoleptic evaluation and content of phenolic substances, amino acids, carotenoids, lutein, vitamins in the smoked fish have been studied. Safety of the biogel and smoked fish has been proven in terms of the content of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals.

Keywords: *smokeless smoking, Furcellaria lumbricalis red algae, PAH, Baltic Sea, biopotential, smoky environment, environmental friendliness.*