

Кузнецов А.Л., Соловьева А.О., Васюкова А.Т., Суворов О.А.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ ПРОФИЛЬ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: Жирнокислотный профиль, пищевые системы, филе атлантической семги, электрохимически активированный раствор, безопасность, срок годности.

Аннотация. Появление новых видов и способов обработки пищевых продуктов требует изучения влияния на компоненты пищевых систем. Рыбные продукты являются важной частью рациона человека, но в результате хранения показатели их качества и безопасности снижаются. Эффективным способом обеспечения биологической безопасности рыбного сырья является использование электрохимически активированных растворов (ЭХАР), полученных посредством высоковольтного диафрагменного электролиза. Целью исследования являлось изучение влияния различных концентраций ЭХАР на жирнокислотный профиль пищевых систем на примере рыбного жира из филе атлантической семги (*Salmo salar*) в период срока хранения. В экспериментах использовался готовый ЭХАР с концентрацией активного хлора (далее Сах) 500 мг/л (0,05%) из которого были приготовлены рабочие ЭХАР с разбавлением 50% и 15%, что соответствует Сах – 250 мг/л (0,025%) и Сах – 75 мг/л (0,0075%). Концентрацию ЭХАР подбирали опытным путем с целью определения оптимальной концентрации, при которой не происходило разрушение жирных кислот (далее ЖК) изучаемых образцов. Определение проводилось методом газовой хроматографии при помощи хроматографа Кристалл-2000М. Сравнение проводили с контрольными образцами. Идентификация пиков метиловых эфиров ЖК испытуемых проб позволила определить рекомендуемую рабочую концентрацию активного хлора ЭХАР, равную 75 мг/л, при которой содержание полиненасыщенных жирных кислот статистически не снижается. Результаты исследований могут быть использованы для обеспечения качества и биологической безопасности рыбного филе с учётом особенностей воздействия ЭХАР на отдельные компоненты пищевых систем.

Введение

Вопрос сохранения качества пищевых продуктов с течением времени не теряет своей актуальности и приобретает все большую значимость для производителей. Появление новых видов и способов обработки пищевых продуктов требует изучения влияния на компоненты пищевых систем. В этой связи разработка способов, нацеленных на повышение уровня безопасности продукции и ее качества при хранении, является одной из важнейших задач специалистов пищевой отрасли.

Наряду с ростом уровня жизни населения постепенно растет и осознанность потребительских расходов, а минимально обработанные или свежие продукты пользуются популярностью из-за своей высокой питательной ценности [7]. Охлажденная рыба пользуется повышенным спросом, так как обладает высоким содержанием незаменимых макро- и микронутриентов. Для потребителя решающее значение имеет биологическая безопасность пищевой продукции. Лучший способ снизить количество заболеваний пищевого происхождения – это обеспечение безопасности поставок продовольствия [13, 14]. Таким образом, повышение эффективности обеззараживания оборудования и сырья на предприятии для производства высококачественных, биологически безопасных пищевых продуктов перед их поставкой на рынок является критически важным этапом технологии пищевого производства [8].

Электрохимически активированные растворы (далее ЭХАР) имеют высокий потенциал применения в пищевой промышленности [1, 2, 12, 17, 20]. Известна успешная практика применения ЭХАР для инактивации бактерий и паразитов на сырой рыбе без изменения её вкусовых характеристик [6, 21, 23], а также в отношении *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* и *Listeria monocytogenes* [10, 11, 19, 23]. Указанные микроорганизмы могут являться не только причиной скорой порчи продукции, но и впоследствии приводить к пищевым отравлениям [5, 22].

Эффективным свойством ЭХАР является их способность непосредственно на свежих пищевых продуктах снижать количество присутствующих микроорганизмов или патогенов, что может иметь перспективу снижения использования пестицидов [15].

Ключевыми задачами ранее проведенных отечественных и зарубежных научных исследований состава рыбы было выделение и идентификация полезных компонентов с последующей демонстрацией их влияния на здоровье. Большое внимание было уделено полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК), эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозапентаеновой кислотам (ДГК), в частности [3, 4, 18]. Данные соединения являются основными показателями пользы мяса рыбы для здоровья человека [13].

Определение жирнокислотного профиля позволяет получить информацию о качественном составе исследуемых жиров. Процентное соотношение метиловых эфиров жирных кислот является показателем качества продукции, но при этом не регламентируется нормативной документацией в области безопасности. Известно [4], что существует закономерность между содержанием в рыбном жире Омега-3 ПНЖК и качеством исходного сырья.

Согласно данным предшествующих исследований потребление ПНЖК, имеющих морское происхождение, снижает концентрацию триглицеридов в сыворотке крови на 25-30%, что на 17-19% ниже эффективности других препаратов, способных снизить этот уровень. ПНЖК обладают доказанной эффективностью и небольшим количеством противопоказаний, а также отсутствием серьезных побочных эффектов, поэтому они одобрены в качестве пищевой добавки управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов FDA.

Несмотря на похожие названия и общее происхождение, между рыбьим и рыбным жиром есть существенная разница – сырье, из которого производятся эти добавки, а следовательно, содержание полезных веществ и результат от их применения. Рыбий жир представляет собой вытяжку из печени рыб жирных пород, в то время как рыбный жир получают из самой тушки рыбы – используют мышечное мясо, а также прилегающий к нему подкожный жир. Регулярное потребление рыбы и морепродуктов с большим содержанием ПНЖК положительно влияет на состояние сердечнососудистой системы человека. Кроме того, данные о потреблении пищи населением показали большой дефицит альфа-липовой кислоты (АЛК) и Омега-3 жирных кислот по сравнению с рекомендациями (среднее потребление АЛК и ЭПК + ДГК 1,4 г/сут. и 209 мг/сут., соответственно) [8].

Исследования в Бельгии показали, что обогащение обычно употребляемых продуктов питания ПНЖК дает возможность увеличить их среднее потребление до 6,5 г/сут. и сбалансировать соотношение Омега-6 и Омега-3 жирных кислот в рационе. Свежая рыба является основным природным источником ПНЖК. Поскольку в настоящее время существует дефицит потребления рыбы, многие исследования направлены на оценку возможности получения рекомендуемого уровня Омега-3 ПНЖК из пищи. Оказалось, что при помощи добавок этого уровня достигают только 5% потребителей. Из всех продуктов, обогащенных Омега-3 ПНЖК на рынке, по потреблению лидируют маргарин и кулинарный жир [6, 7, 15].

Результаты изучения статистики показали, что между потреблением и рекомендуемым значением ЭПК и ДГК остается большой разрыв (среднее значение = 276 мг/сут.). Рыба и морепродукты остаются самым важным источником ЭПК и ДГК. Только 11,6% населения достигают уровня потребления 500 мг ЭПК и ДГК в день [8]. Исследования показывают, что для увеличения потребления ЭПК и ДГК в долгосрочной перспективе потребуются пролонгация срока годности свежей рыбы и морепродуктов.

Кроме обеспечения безопасности сырья и пищевой продукции важным является исследование влияния ЭХАР на их качество, в частности, на состав ЖК.

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния различных концентраций ЭХАР на жирнокислотный профиль пищевых систем на примере рыбного жира из филе атлантической семги (*Salmo salar*) в период срока хранения.

Объекты и методы исследования

Для проведения исследований влияния ЭХАР на жирнокислотный профиль рыбного жира было использовано охлажденное филе семги атлантической (*Salmo salar*). В ходе испытаний были проанализированы три пробы: филе, не прошедшее обработку, и филе, обработанное при различных концентрациях ЭХАР.

В экспериментах использовали готовый ЭХАР с концентрацией активного хлора (далее Сах) 500 мг/л (0,05%), из которого были приготовлены рабочие ЭХАР с разбавлением 50% и 15%, что соответствует Сах – 250 мг/л (0,025%) и Сах – 75 мг/л (0,0075%) ЭХАР, которые подбирали опытным путем для определения оптимальной концентрации, при которой не разрушались ЖК изучаемых образцов. Разбавление осуществлялось очищенной водой питьевого качества. Для определения состава ЖК рыбный жир экстрагировали из анализируемой пробы арбитражным методом с помощью петролейного эфира в экстракционном аппарате Сокслета (Simax, Чехия). Для этого в колбу помещали филе рыбы весом 1 г и к навеске добавляли раствор метилата натрия в метаноле. С помощью обратного холодильника, соединенного с колбой, после снижения температуры стабилизировали смесь. Путем доведения до кипения на водяной бане получали прозрачный раствор, к которому на следующем этапе добавляли метанольный раствор хлористого водорода. Содержимое колбы двукратно экстрагировали гептаном. Экстракты высушивали фильтрованием через слой безводного сульфата натрия. Определение содержания метиловых эфиров жирных кислот проводили методом газовой хроматографии при помощи хроматографа Кристалл-2000М (Россия). Методика проведения исследований была основана на ГОСТ 31663-2012. В работе использовали колонку газохроматографическую насадочную из нержавеющей стали. Пробы объемом 1 мкл вводили в подготовленные виалы. Закол пробы производили при температурах 100°C и 230°C. Газовую смесь гелия и азота подавали под давлением 262 кПа. В качестве стандарта для заколов использовали смесь из 37 метиловых эфиров чистых ЖК (Supelco 37 Component FAME Mix, TraceCERT, США). Анализ стандартной смеси проводили в изотермических условиях, идентичных таковым для определения метиловых эфиров ЖК испытуемых проб. Измеряли объемы удерживания метиловых эфиров ЖК. Исходя из полученных данных, строили график логарифмической зависимости объема удерживания от длины цепи для метиловых эфиров ЖК. Расчет результатов заколов производили методом процентной нормализации по площади пиков. Жирнокислотный состав филе рыбы определяли через 24 часа после обработки, что было обосновано особенностями воздействия ЭХАР.

Результаты исследований

Результаты хроматографического определения жирнокислотного состава филе семги атлантической без обработки ЭХАР представлено на рисунке 1.

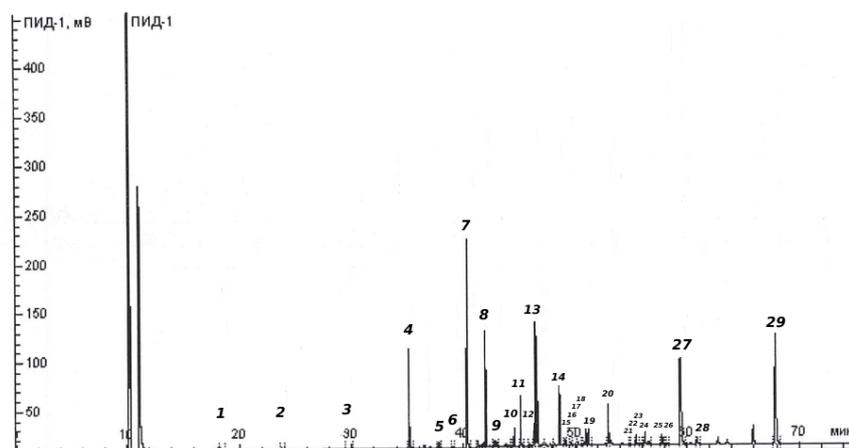


Рисунок 1. Хроматограммы пиков метиловых эфиров жирных кислот филе семги без обработки

Как видно из рисунка 1 исходное сырье характеризуется высоким содержанием Омега-3 ПНЖК и балансом соотношения Омега-3 и Омега-6 жирных кислот, что свидетельствует о высоком качестве и подлинности рыбного жира. Это заключение основывается на содержании гамма-линоленовой (С 18:3), эйкозатриеновой (С 20:3), эйкозапентаеновой (С 20:5) и докозагексаеновой (С 22:6) жирных кислот (ЖК). Их числовые значения по расчетам из площади пиков являются высокими и характерными для рыбного сырья.

Влияние на состав ЖК в испытуемых образцах, подверженных обработке ЭХАР с Сах 250 мг/л представлено на рисунке 2.

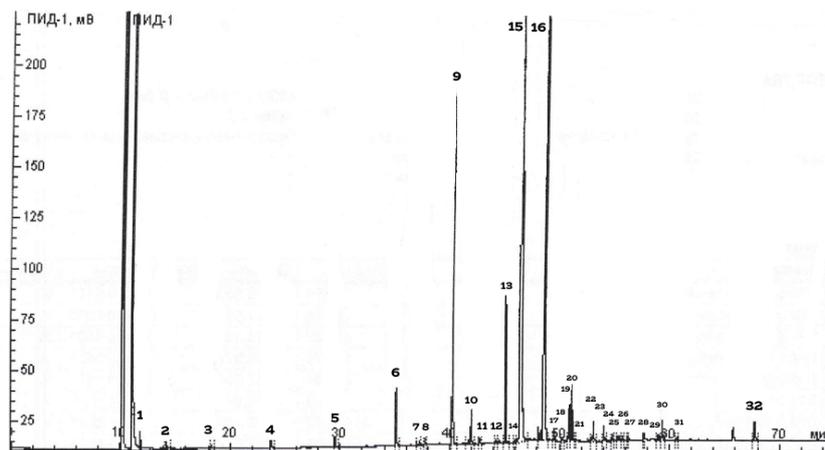


Рисунок 2. Хроматограммы пиков метиловых эфиров жирных кислот филе семги, обработанной ЭХАР с Сах 250 мг/л

Пики хроматограммы свидетельствовали о значительном снижении количества и процентного содержания ЖК. ЭХАР с Сах 250 мг/л оказало разрушающее действие на ЖК экстрагированного рыбного жира. Выявлен почти полный распад таких ЖК, как гамма-линоленовой (С 18:3), эйкозатриеновой (С 20:3), эйкозапентаеновой (С 20:5) и докозагексаеновой (С 22:6). Одновременно в обработанных образцах были идентифицированы ЖК, не обнаруженные в необработанных пробах: метилбутират (С 4:0), этилгексаноат (С 6:0), миристолеат (С 14:01). Результаты свидетельствуют об избыточном воздействии ЭХАР.

В связи с этим опытным путем была подобрана уменьшенная и в дальнейшем рекомендуемая концентрация Сах 75 мг/л, не нарушающая жирнокислотный состав обработанных образцов. Результаты исследования воздействия Сах 75 мг/л приведены на рисунке 3.

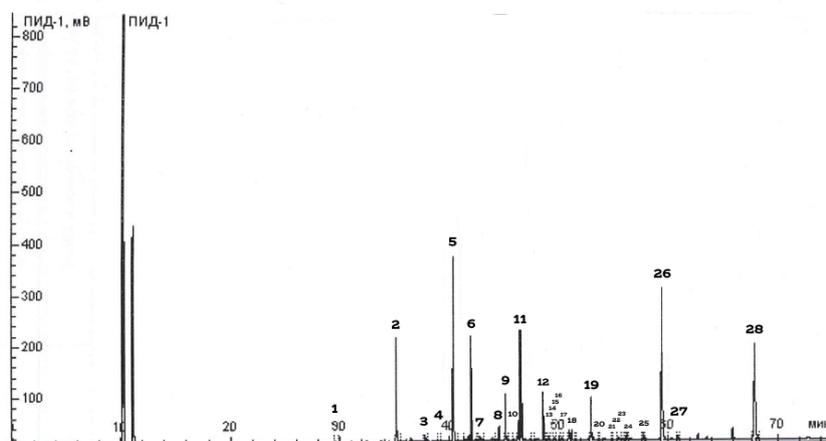


Рисунок 3. Хроматограммы пиков метиловых эфиров жирных кислот филе семги, обработанной ЭХАР с Сах 75 мг/л

Полученные результаты свидетельствуют, что при применении ЭХАР с концентрацией Сах 75 мг/л состав ЖК практически не отличался от такового у необработанных образцов (рисунок 1). В обработанных ЭХАР с Сах 75 мг/л образцах присутствовало высокое содержание Омега-3 ПНЖК, баланс соотношения Омега-3 и Омега-6 ЖК не был нарушен. Содержание некоторых ключевых ЖК было снижено незначительно.

Данные хроматограмм были пересчитаны методом процентной нормализации по площади пиков в процентные соотношения метиловых эфиров ЖК. Был произведен расчет результатов по компонентам для каждого вида проб, результаты приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Расчет процентной концентрации метиловых эфиров жирных кислот филе семги без обработки

№	Время, мин.	Компонент	Площадь	Высота	Концентрация (%)
1	18.234	C 8:0 Methyl octanoate	18.711	2.593	0,2801
2	23.685	C 10:0 Methyl decanoate	12.466	1.757	0,1871
3	29.562	C 12:0 Methyl laurate	9.194	1.275	0,1381
4	35.120	C 14:0 Methyl miristate	472.279	102.833	7,0761
5	37.829	C 15:0 Methyl pentadecanoate	29.948	6.113	0,4491
6	39.142	C 15:01 cis-10-Pentadecenoic ame	4.651	0.920	0,0701
7	40.392	C 16:0 Methyl Palmitate	972.562	213.114	14,5721
8	42.047	C 16:01 Methyl Palmitoleate	615.876	118.944	9,2281
9	42.827	C 17:0 Methyl heptadecanoate	58.364	6.638	0,8741
10	44.344	C 17:01 cis-10-Heptadecenoic ame	8.819	2.283	0,1321
11	45.185	C 18:0 Methyl stearate	207.854	51.794	3,1141
12	45.981	C 18:01 trans-9-Elaidic ame	17.943	2.289	0,2691
13	46.563	C 18:1 cis-9-Oleic ame	886.124	127.990	13,2771
14	48.677	C 18:2 Methyl Linoleate	328.688	62.797	4,9251
15	49.188	C 20:0 Methil Arachidate	27.363	5.999	0,4101
16	49.713	C 20:4 Methyl cis-5,8,11,14-Eicosatetraenoic	19.060	3.731	0,2861
17	50.345	C 18:3 gamma-Linolenic ame	18.923	3.748	0,2841
18	51.056	C 20:1 Methyl cis-11-eicosenoate	91.509	17.042	1,3711
19	51.258	C 18:3 Methyl Linolenate	83.709	16.112	1,2541
20	53.019	C 20:2 cis-11,14-Eicosadienoic ame	202.772	41.585	3,0381
21	54.924	C 20:3 cis-8,11,14-Eicosatrienoic ame	8.845	1.884	0,1331
22	55.506	C 22:1 Methyl Erucate	64.696	11.067	0,9691
23	55.918	C 20:3 cis-11,14,17-Eicosatrienoic ame	12.011	1.679	0,1801
24	56.306	C 23:0 Methyl tricosanoate	104.689	14.018	1,5691
25	57.806	C 22:2 cis-13-16-Docosadienoic ame	55.942	10.037	0,8381
26	58.328	C 24:0 Methyl lignocerate	5.165	0.911	0,0771
27	59.487	C 20:5 Methyl cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoate	1313.984	202.172	19,6881
28	60.937	C 24:1 Methyl Nervonate	42.613	6.883	0,6381
29	67.960	C 22:6 cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoate	979.322	114.240	14,6741

Результаты расчетов демонстрируют высокую площадь пиков эйкозапентаеновой (С 20:5) и докозагексаеновой (С 22:6) ЖК, что свидетельствует о высоком качестве филе рыбы. Количество Омега-3 ПНЖК в исходном сырье соответствовало нормальным показателям рыбного жира.

В таблице 2 приведены данные хроматограммы для образца, обработанного ЭХАР с Сах 250 мг/л.

Таблица 2. Расчет процентной концентрации метиловых эфиров жирных кислот филе семги, обработанной ЭХАР с Сах 250 мг/л

№	Время, мин.	Компонент	Площадь	Высота	Концентрация (%)
1	11.823	C 4:0 Methyl butyrate	25.907	7.471	0,3331
2	14.188	C 6:0 Methyl hexanoate	18.198	3.314	0,2341
3	18.239	C 8:0 Methyl octanoate	11.099	1.502	0,1431
4	23.631	C 10:0 Methyl decanoate	25.174	3.733	0,3231
5	29.472	C 12:0 Methyl laurate	31.489	5.138	0,4051
6	35.058	C 14:0 Methyl miristate	145.735	28.626	1,8721
7	37.264	C 14:01 cis-9 Myristoleate ame	14.830	2.132	0,1911
8	37.754	C 15:0 Methyl pentadecanoate	16.069	3.234	0,2061
9	40.283	C 16:0 Methyl Palmitate	800.952	180.530	10,2901
10	41.969	C 16:01 Methyl Palmitoleate	95.015	17.173	1,2211
11	42.738	C 17:0 Methyl heptadecanoate	14.938	2.572	0,1921
12	44.269	C 17:01 cis-10-Heptadecenoic ame	5.520	1.295	0,0711
13	45.108	C 18:0 Methyl stearate	339.294	72.670	4,3591
14	46.080	C 18:01 trans-9-Elaidic ame	9.032	1.534	0,1161
15	46.542	C 18:1 cis-9-Oleic ame	2550.662	393.218	32,7691
16	48.687	C 18:2 Methyl Linoleate	3066.933	486.394	39,4021
17	49.562	C 20:0 Methil Arachidate	20.259	5.046	0,2601
18	50.291	C 18:3 gamma-Linolenic ame	5.825	1.051	0,0751
19	50.934	C 20:1 Methyl cis-11-eicosenoate	107.740	21.534	1,3841
20	51.178	C 18:3 Methyl Linolenate	136.166	27.921	1,7491
21	51.509	C 21:0 methyl heneicosanoate	5.053	1.081	0,0651
22	53.120	C 20:2 cis-11,14-Eicosadienoic ame	65.446	10.026	0,8411
23	54.075	C 22:0 Methyl docosanoate	34.132	7.622	0,4391
24	54.832	C 20:3 cis-8,11,14-Eicosatrienoic ame	15.487	3.079	0,1991
25	55.341	C 22:1 Methyl Erucate	22.578	2.382	0,2901
26	55.774	C 20:3 cis-11,14,17-Eicosatrienoic ame	11.372	2.176	0,1461
27	56.227	C 23:0 Methyl tricosanoate	8.803	1.872	0,1131
28	57.722	C 22:2 cis-13-16-Docosadienoic ame	19.397	3.504	0,2491
29	59.027	C 24:0 Methyl lignocerate	14.422	2.694	0,1851
30	59.365	C 20:5 Methyl cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoate	60.870	9.904	0,7821
31	60.723	C 24:1 Methyl Nervonate	8.674	1.621	0,1111
32	67.768	C 22:6 cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoate	76.712	9.417	0,9861

Полученные результаты указывают на потерю качественного состава липидов рыбы при обработке высокими концентрациями ЭХАР. Содержание эйкозапентаеновой и докозагексаеновой ЖК резко снижались, что является неприемлемым в контексте сохранения качества рыбного жира при его хранении. Результаты расчётов на более щадящую концентрацию 75 мг/л представлены в таблице 3.

Таблица 3. Расчет процентной концентрации метиловых эфиров жирных кислот филе семги, обработанной ЭХАР с Сах 75 мг/л

№	Время, мин.	Компонент	Площадь	Высота	Концентрация (%)
1	29.510	C 12:0 Methyl laurate	14.771	2.794	0,1271
2	35.120	C 14:0 Methyl miristate	880.654	203.567	7,5521
3	37.799	C 15:0 Methyl pentadecanoate	50.611	11.117	0,4341
4	39.119	C 15:01 cis-10-Pentadecenoic ame	10.276	1.728	0,0881
5	40.422	C 16:0 Methyl Palmitate	2059.979	360.451	17,6661
6	42.053	C 16:01 Methyl Palmitoleate	1070.130	205.480	9,1771
7	42.810	C 17:0 Methyl heptadecanoate	80.797	10.571	0,6931
8	44.327	C 17:01 cis-10-Heptadecenoic ame	13.562	3.405	0,1161
9	45.195	C 18:0 Methyl stearate	390.209	92.657	3,3461
10	46.112	C 18:01 trans-9-Eladic ame	14.560	1.863	0,1251
11	46.577	C 18:1 cis-9-Oleic ame	1592.139	218.387	13,6541
12	48.659	C 18:2 Methyl linoleate	494.978	90.806	4,2451
13	49.174	C20:0 Methil Arachidate	39.277	8.866	0,3371
14	49.701	C20:4 Methyl cis-5,,11,14-Eicocatetraenoic	32.435	6.952	0,2781
15	50.332	C 18:3 gamma-Linolenic ame	31.413	6.593	0,2691
16	51.051	C20:1 Methyl cis-11-eicosenoate	107.938	20.756	0,9261
17	51.243	C 18:3 Methyl Linolenate	100.206	18.817	0,8591
18	51.593	C21:0 methyl heneicosanoate	3.004	0.709	0,0261
19	53.006	C20:2 cis-11,14-Eicosadienoic ame	458.601	83.383	3,9331
20	53.732	C22:0 Methyl docosanoate	4.116	0.886	0,0351
21	54.909	C20:3 cis-8,11,14-Eicocatetraenoic ame	13.541	2.580	0,1161
22	55.496	C22:1 Methyl Erucate	36.171	4.958	0,3101
23	55.919	C20:3 cis-11,14,17-Eicocatetraenoic ame	17.574	2.460	0,1511
24	56.289	C23:0 Methyl tricosanoate	80.258	15.172	0,6881
25	57.793	C22:2 cis-13-16-Docosadienoic ame	77.223	13.940	0,6621
26	59.497	C20:5 Methyl cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoate	2122.792	303.293	18,2041
27	60.917	C24:1 Methyl Nervonate	55.828	8.952	0,4791
28	67.982	C22:6 cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoate	1807.816	189.429	15,5031

Все испытания проводились при одинаковых условиях по одной методике. Время воздействия ЭХАР на навески филе семги составило 24 часа при температуре хранения $4\pm 2^\circ\text{C}$. Равные условия проведения испытаний, позволяют исключить ухудшение качества рыбы, которое могло бы произойти под воздействием других внешних факторов [16].

В качестве эталона для сравнительной характеристики был взят жирнокислотный профиль филе рыбы, не прошедшей обработку. Основываясь на результатах исследований, можно утверждать, что наименьшего эффекта разрушения ЖК можно достигнуть снижением концентрации ЭХАР до 75 мг/л.

Качество рыбного жира в первую очередь определяется высоким содержанием ПНЖК, относящихся к группе Омега-3 [18]. Основными маркерами качества являются значения содержания эйкозапентаеновой и докозагексаеновой ЖК [3].

В настоящем исследовании определено влияние ЭХАР на профиль ЖК, содержащихся в рыбном жире. Понижение концентрации ЭХАР до 75 мг/л не оказывало значительного негативного влияния на качественный состав: потеря ЖК составила 3%. Таким образом, основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать вывод, что обработка филе рыбы ЭХАР с концентрацией активного хлора 75 мг/л после 24-часовой выдержки позволит одновременно сохранить качественный состав рыбного жира, предотвратить развитие микробной порчи [7] и обеспечит срок хранения.

Выводы

1. Полученные результаты позволили установить зависимость изменений жирнокислотного профиля пищевых систем на примере рыбного жира от концентрации активного хлора ЭХАР.
2. Идентификация пиков метиловых эфиров ЖК испытуемых проб позволила определить рекомендуемую рабочую концентрацию активного хлора ЭХАР (75 мг/л), при которой содержание ПНЖК статистически не снижается.
3. Результаты проведенного исследования показывают возможность применения ЭХАР при обеспечении биологической безопасности продуктов с высоким содержанием полезных жиров без потери их качества при кратковременном хранении.

Список литературы

1. Бахир В.М. Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология. – Москва: ВИВА – СТАР, 2014. – С. 511.
2. Бывальцев А.И., Магомедов Г.О., Бывальцев В.А. Свойства активированной воды и ее использование в пищевой промышленности // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2008. – № 7. – С. 49-53.
3. Вытапливание жира в электрохимически активированной водной среде: технологические аспекты, безопасность и качество готового продукта / М.В. Горбачева, В.Е. Тарасов, А.И. Сапожникова, С.А. Калманович // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – № 1 (83). – С. 169-177.
4. Гаммель И.В., Запорожская Л.И., Магин Г.Ю. Получение и исследование осетрового рыбьего жира – источника омега – 3 и омега – 6 полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский альманах. – 2013. – № 5. – С. 182-186.
5. Общая биология и микробиология / А.Ю. Просеков, Л.С. Солдатова, И.С. Разумникова, О.В. Козлова. – СПб: Проспект Науки, 2018. – С. 320.
6. Применение ЭХА – растворов в биотехнологии продуктов из рыбного и растительного сырья / Р.Г. Разумовская, А.И. Кассамединов, Тхи Хуе Као, Ван ХынгНгуен, О.В. Збродова // Вестник АГТУ. – 2011. – № 1. – С. 28-32.
7. Романова А.С. Использование физических методов для увеличения срока годности охлажденной рыбы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург. 2018. – 20 с.

8. Adley C.C., Ryan M.P. The Nature and Extent of Foodborne Disease // *Antimicrobial Food Packaging*. – 2016. – Pp. 1-10.
9. Antimicrobial resistance in the food chain: a review / C. Verraes, S. Van Boxstael, E. Van Meervenne, E. Van Coillie, P. Butaye, B. Catry, M. DeSchaezen, X. Van Huffel, H. Imberechts, K. Dierick, G. Daube, C. Saegerman, J. De Block, J. Dewulf, L. Herman // *J Environ Res Public Health*. – 2013. – V. 10. – № 7. – P. 2643.
10. Bakhir V.M., Pogorelov A.G. Universal Electrochemical Technology for Environmental Protection // *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. – 2018. – 7(1). – Pp. 41-57.
11. Beeman M.G. Electrochemical Detection of E.coli O157:H7 in Water after Electrocatalytic and Ultraviolet Treatments Using a Polyguanine – Labeled Secondary Bead Sensor // *Sensors*. – 2018. – Pp. 18 – 1497.
12. Beet pulp dietary fiber exposed to an extremely low – frequency electromagnetic field: detoxification properties / M.Y. Tamova, E.V. Barashkina, N.R. Tretyakova, R.A. Zhuravlev, N.D. Penov // *Foods and raw materials*. – V. 9 (1). – P. 2-9.
13. Chemical composition of indigenous raw meats / V.G. Shelepov, V.A. Uglov, E.V. Boroday, V.M. Poznyakovsky // *Foods and Raw Materials*. – 2019. – 7(2). – P. 412-418.
14. Comparative study between the electro – activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates / A.A. Gerzhova, M. Benali, M. Mondor, M. Aider // *Food Bioscience*. – 2015. – Pp. 25-29.
15. Daily ingestion of alkaline electrolyzed water containing hydrogen influences human health, including gastrointestinal symptoms / Y. Tanaka [et al.] // *Medical gas research*. – 2018. – V. 8. – P. 160-167.
16. Ding T., Oh D.H., Liu D. Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications. – 2019. – Pp. 25-27.
17. Development of Portable Flow – Through Electrochemical Sanitizing Unit to Generate Near Neutral Electrolyzed Water / J. Zhang [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2018. – 83(3). – P. 780-790.
18. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova // *Foods and raw materials*. – 2021. – V. 9 (1). – P. 32-42.
19. Electrochemically Reduced Water: Modification of the Incubation Medium and Oxidative Activity / A.G. Pogorelov [et al.]. – 2018. – V. 63. – N 1. – P. 21-27.
20. Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies as A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies / O.A. Suvorov [et al.] // *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*. – 2018. – 7(2). – P. 43-52.
21. Potential of Electrolyzed Water as an Alternative Disinfectant Agent in the Fresh – Cut Industry / M.I. Gil, V.M. Gómez – López, Y. C. Hung, A. Allende // *Food and Bioprocess Technology* – 2015. – 8(6). – P. 1336-1348.
22. Ridwan R.D. The Ability of Electrolyzed Reduced Water to Act as an Antioxidant and Anti – Inflammatory Agent in Chronic Periodontitis Wistar Rats (*Rattus novergicus*) // *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* – 2019. – V. 4. – P. 1-6.
23. Thorn R., Pendred J., Reynolds D.M. Assessing the antimicrobial potential of aerosolised electrochemically activated solutions (ECAS) for reducing the microbial bio – burden on fresh food produce held under cooled or cold storage conditions // *Food Microbiology*. – 2017. – P. 68, 41-50.

Кузнецов Александр Львович – кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог, Акционерное общество «345 механический завод», 143900, Московская область, Балашиха, Западная промзона, ш. Энтузиастов, 7, e-mail: a.l.kuznetsov@bk.ru

Соловьева Анастасия Олеговна – аспирант, ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ». 125080 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, e-mail: kytiama@mail.ru

Васюкова Анна Тимофеевна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ». 125080 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, e-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Суворов Олег Александрович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ». 125080 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, e-mail: suvorovOA@ya.ru

UDC 637.56

A. Kuznetsov, A. Solovieva, A. Vasyukova, O. Suvorov

INFLUENCE OF ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED SOLUTIONS ON THE FATTY ACID PROFILE OF FOOD SYSTEMS

Keywords: Fatty acid profile, food systems, Atlantic salmon fillet, electrochemically activated solution, safety, shelf life.

Abstract: The emergence of new types and methods of food processing requires studying the impact on the components of food systems. Fish products are an important part of the human diet, but as a result of storage, their quality and safety indicators are reduced. An effective way to ensure the biological safety of fish raw materials is the use of electrochemically activated solutions (ECAS) obtained by high-voltage diaphragm electrolysis. The aim of the study was to study the effect of various concentrations of ECAS on the fatty acid profile of food systems using the example of fish oil from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillet during the shelf life. In the experiments, a ready-made ECAS with an active chlorine concentration (hereinafter Cach) of 500 mg/l (0.05%) was used, from which working ECAS were prepared with a dilution of 50% and 15%, which corresponds to Cach – 250 mg/l (0.025%) and Cach – 75 mg / l (0.0075%). The concentration of ECAS was selected experimentally in order to determine the optimal concentration at which the destruction of fatty acids (hereinafter FA) of the studied samples did not occur. The determination was carried out by gas chromatography using a Crystal-2000M chromatograph. Comparison was made with control samples. Identification of the peaks of FA methyl esters of the tested samples made it possible to determine the recommended working concentration of active chlorine ECAS equal to 75 mg/l, at which the content of polyunsaturated fatty acids does not statistically decrease. The research results can be used to ensure the quality and biological safety of fish fillets, taking into account the specific effects of ECAS on individual components of food systems.

References

1. Bakhir V.M. electrochemical activation. Inventions, technique, technology. – Moscow: VIVA – STAR Publ., 2014. – P. 511.
2. Byvaltsev A.I., Magomedov G.O., Byvaltsev V.A. Properties of activated water and its use in the food industry // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2008. – No. 7. – Pp. 49-53.
3. Fat melting in an electrochemically activated aqueous medium: technological aspects, safety and quality of the finished product / M.V. Gorbachev, V.E. Tarasov, A.I. Sapozhnikova, S.A. Kalmanovich // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82. – No. 1 (83). – Pp. 169-177.
4. Gammel I.V., Zaporozhskaya L.I., Magin G.Yu. Preparation and study of sturgeon fish oil - a source of omega - 3 and omega - 6 polyunsaturated fatty acids // Medical Almanac. – 2013. – No. 5. – Pp. 182-186.
5. General biology and microbiology / A.Yu. Prosekov, L.S. Soldatova, I.S. Razumnikova, O.V. Kozlov. – St. Petersburg: Prospekt Nauki Publ., 2018. – P. 320.

6. Application of ECA – solutions in the biotechnology of products from fish and vegetable raw materials / R.G. Razumovskaya, A.I. Kassamedinov, Thi Hue Kao, Van HungNguyen, O.V. Zbrodova // *Vestnik ASTU*. – 2011. – No 1. – Pp. 28-32.
7. Romanova A.S. Using physical methods to increase the shelf life of chilled fish. Abstract of diss. for the degree of Cand. tech. – Ekaterinburg, 2018. – 20 p.
8. Adley C.C., Ryan M.P. The Nature and Extent of Foodborne Disease // *Antimicrobial Food Packaging*. – 2016. – Pp. 1-10.
9. Antimicrobial resistance in the food chain: a review / C. Verraes, S. Van Boxstael, E. Van Meervenne, E. Van Coillie, P. Butaye, B. Catry, M. DeSchaezen, X. Van Huffel, H. Imberechts, K. Dierick, G. Daube, C. Saegerman, J. De Block, J. Dewulf, L. Herman // *J Environ Res Public Health* – 2013. – V. 10. – № 7. – P. 2643.
10. Bakhir V.M., Pogorelov A.G. Universal Electrochemical Technology for Environmental Protection // *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. – 2018. – 7(1). – Pp. 41-57.
11. Beeman M.G. Electrochemical Detection of E.coli O157:H7 in Water after Electrocatalytic and Ultraviolet Treatments Using a Polyguanine – Labeled Secondary Bead Sensor // *Sensors*. – 2018. – Pp. 18-1497.
12. Beet pulp dietary fiber exposed to an extremely low – frequency electromagnetic field: detoxification properties / M.Y. Tamova, E.V. Barashkina, N.R. Tretyakova, R.A. Zhuravlev, N.D. Penov // *Foods and raw materials*. – V. 9 (1). – P. 2-9.
13. Chemical composition of indigenous raw meats / V.G. Shelepov, V.A. Uglov, E.V. Boroday, V.M. Poznyakovsky // *Foods and Raw Materials*. – 2019. – 7(2). – P. 412-418.
14. Comparative study between the electro – activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates / A.A. Gerzhova, M. Benali, M. Mondor, M. Aider // *Food Bioscience*. 2015. Pp. 25-29.
15. Daily ingestion of alkaline electrolyzed water containing hydrogen influences human health, including gastrointestinal symptoms / Y. Tanaka [et al.] // *Medical gas research*. – 2018. – V. 8. – P. 160-167.
16. Ding T., Oh D.H., Liu D. Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications. – 2019. – Pp. 25-27.
17. Development of Portable Flow – Through Electrochemical Sanitizing Unit to Generate Near Neutral Electrolyzed Water / J. Zhang [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2018. – 83(3). – P. 780-790.
18. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova // *Foods and raw materials*. – 2021. – V. 9 (1). – P. 32-42.
19. Electrochemically Reduced Water: Modification of the Incubation Medium and Oxidative Activity / A.G. Pogorelov [et al.]. – 2018. – V. 63. – N 1. – P. 21-27.
20. Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies as A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies / O.A. Suvorov [et al.] // *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*. – 2018. – 7(2). – P. 43-52.
21. Potential of Electrolyzed Water as an Alternative Disinfectant Agent in the Fresh – Cut Industry / M.I. Gil, V.M. Gómez – López, Y.C. Hung, A. Allende // *Food and Bioprocess Technology* – 2015. – 8(6). – P. 1336-1348.
22. Ridwan R.D. The Ability of Electrolyzed Reduced Water to Act as an Antioxidant and Anti – Inflammatory Agent in Chronic Periodontitis Wistar Rats (*Rattus novergicus*) // *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* – 2019. – V. 4. – P. 1-6.
23. Thorn R., Pendred J., Reynolds D.M. Assessing the antimicrobial potential of aerosolised electrochemically activated solutions (ECAS) for reducing the microbial bio – burden on fresh

food produce held under cooled or cold storage conditions // Food Microbiology. – 2017. – P. 68, 41-50.

Kuznetsov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Leading Process Engineer, Joint Stock Company "345 Mechanical Plant", 143900, Moscow Region, Balashikha, Western Industrial Zone, sh. Entuziastov, 7, e-mail: a.l. kuznetsov@bk.ru

Anastasia Olegovna – post-graduate student, of the BIOTECH University. 125080 Moscow, Volokolamsk highway, 11, e-mail: kytiana@mail.ru

Vasyukova Anna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service of the BIOTECH University. 125080 Moscow, Volokolamsk highway, 11, e-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Suvorov Oleg – Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service of the BIOTECH University. 125080 Moscow, Volokolamsk highway, 11, e-mail: suvorovOA@ya.ru