

Вытапливание жира в электрохимически активированной водной среде: технологические аспекты, безопасность и качество готового продукта

Мария В. Горбачева	¹	gmv76@bk.ru	 0000-0003-3654-4440
Василий Е. Тарасов	²	tarasov@kubstu.ru	
Алла И. Сапожникова	¹	fibrilla@mail.ru	 0000-0001-5040-6998
Светлана А. Калманович	²	kalmanovich@kubstu.ru	 0000-0002-7440-3422

¹ Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К. И. Скрябина, ул. Академика
² Скрябина, 23, г. Москва, 109472, Россия

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния физико-химических и механических воздействий на процесс вытапливания жира в присутствии электролита (католита) для разработки алгоритма жириозвлечения и получения продукта высокого качества с регулируемой температурой плавления. Определено, что продолжительность вытапливания и термическая обработка сырья оказывают равнонаправленное действие на показатель кислотного числа жира страуса. Выявлена обратная зависимость по водородному показателю водной фазы католита, обеспечивающая снижение кислотного числа жира. Установлена положительная динамика по показателю кислотного числа готового продукта при жириозвлечении с pH католита в диапазоне 10-10,5 независимо от температуры и продолжительности процесса (кислотное число жира не превышало 0,77 мг КОН/г). В ходе вытапливания жира при температуре 50-55 °С и pH католита не ниже 9 установлено, что перекисное число находится в интервале значений 1,56-1,81 ммоль активного кислорода/кг, что подтверждает ингибирующее действие электрохимической среды не только на липолиз, но и окислительную деградацию липидов. Наибольший выход топленого жира отмечен при времени и температуре обработки сырья, соответственно 60 мин и 95 °С, pH католита 10. Применение электроактивированной жидкости позволило сократить в 2 раза время жириозвлечения без значительных потерь по выходу и качеству готового продукта. С повышением pH католита до 10,5 удалось снизить время и температуру вытапливания соответственно до 45 мин и 75 °С с сохранением высокого значения выхода жира, что подтверждает эффективность применения электролита, а также возможность моделировать условия и параметры вытапливания в зависимости от поставленной технической задачи. Жир, вытопленный в присутствии электроактивированной жидкости, не обладает токсичностью при внутрижелудочном введении лабораторным животным, а также раздражающим и аллергическим эффектом при нанесении на слизистые оболочки и кожу

Ключевые слова: электролиз, католит, растворы, страусоводство, жириозвлечение, пищевое производство

Fat rendering in an electrochemically activated water environment: technological aspects, safety and quality of the finished product

Mariya V. Gorbacheva	¹	gmv76@bk.ru	 0000-0003-3654-4440
Vasily E. Tarasov	²	tarasov@kubstu.ru	
Alla I. Sapozhnikova	¹	fibrilla@mail.ru	 0000-0001-5040-6998
Svetlana A. Kalmanovich	²	kalmanovich@kubstu.ru	 0000-0002-7440-3422

¹ Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Academica Scrybina St., 23, Moscow, 109472, Russia
² Kuban State Technological University Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia

Abstract. The work is devoted to studying the influence of physical-chemical and mechanical impact on the process of fat rendering in the presence of electrolyte (catholite) in order to develop an algorithm of fat extraction and obtain a high quality product with adjustable melting point. It is determined that the duration of rendering and heat treatment of raw materials have an equal effect on the index of acid number of ostrich fat. The inverse dependence on the hydrogen indicator of the water phase of the catholite, providing a decrease in the acid number of fat, is revealed. Positive dynamics on the indicator of acid number of ready product at fat extraction with pH of the catholite in the range of 10-10,5 irrespective of temperature and duration of process (acid number of fat did not exceed 0,77 mg KON/g) was established. In the course of fat rendering at the temperature of 50-55 °С and pH of the catholite not lower than 9, it was found that the peroxide number is in the range of 1.56-1.81 mmol of active oxygen/kg, which confirms the inhibitory effect of the electrochemical environment not only on lipolysis, but also on lipid oxidative degradation. The highest yield of rendered fat was observed at the time and temperature of raw material processing, respectively, 60 minutes and 95 °С, pH of catholite is 10. The use of electro-activated liquid allowed to reduce time of fat extraction by half without significant losses in yield and quality of the finished product. With increase of pH of catholite up to 10,5 it was possible to reduce time and temperature of heating up to 45 minutes and 75 °С correspondingly while maintaining high value of fat yield that confirms efficiency of electrolyte application and also possibility to set conditions and parameters of rendering depending on the objectives sought. Fat, rendered with the help of electro-activated liquid, does not possess toxicity at intragastric injection to laboratory animal, and also irritating and allergic effect during application on mucous membranes and skin

Keywords: electrolysis, catholite, solutions, ostrich breeding, fat extraction, food production

Для цитирования

Горбачева М.В., Тарасов В.Е., Сапожникова А.И., Калманович С.А. Вытапливание жира в электрохимически активированной водной среде: технологические аспекты, безопасность и качество готового продукта // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 169–177. doi:10.20914/2310-1202-2020-1-169-177

For citation

Gorbacheva M.V., Tarasov V.E., Sapozhnikova A.I., Kalmanovich S.A. Fat rendering in an electrochemically activated water environment: technological aspects, safety and quality of the finished product. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 169–177. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-1-169-177

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Одним из основных условий качественного обновления пищевой индустрии на современном этапе экономического развития нашей страны является активное внедрение в производственные циклы научных инноваций, направленных на более рациональное использование сырья, энергосбережение, интенсификацию технологических процессов, повышение эффективности, конструирование и производство специальной техники, устройств и приборов, а также улучшение качества готовой продукции [1–6].

Особый интерес в этом плане вызывают прогрессивные разработки в области электротехники, физики и химии, основанные на явлении электрохимической активации (ЭХА) воды и водных растворов, открытом в 1972 г. [7]. Электрохимическая активация как технология представляет собой получение и последующее использование электрохимически активированной воды либо в процессах ее очистки от нежелательных компонентов, либо в различных технологических процессах в качестве реагента или реакционной среды с целью управления сложными физико-химическими реакциями, экономии энергии, времени и материалов, повышения качества конечного продукта, уменьшения образования отходов [7–9].

В последнее время ЭХА воды и растворов находит широкое практическое применение при производстве жиров. Возможность эффективного воздействия ЭХА среды в масложировом производстве и других отраслях пищевой промышленности подтверждена отечественными разработками [10–15]. В работах ученых

ФГБОУ ВО «Кубанский технологический университет» [16,17] и ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет» [18] описаны эффективные способы получения масла из виноградной косточки, вытапливания жира страуса в присутствии электролита, а также применения электролита при рафинации масел, позволяющие получать продукты с высокими показателями качества. Предлагаемый способ жириозвлечения имеет ряд преимуществ и предусматривает возможность как более полного вытапливания жира, так и возможность его фракционирования в зависимости от заданной температуры плавления на стадии жириозвлечения. Вышеизложенное дает основание нам считать выбранное направление актуальным и перспективным.

Цель работы – изучение влияния физико-химических и механических воздействий на процесс вытапливания жира страуса в присутствии электролита (католита) для разработки алгоритма жириозвлечения и получения продукта высокого качества с регулируемой температурой плавления.

Материалы и методы

Объектом исследований служил жир страуса, полученный мокрым вытапливанием в водной фазе католита при технологических параметрах, оптимизированных опытным и расчетным путем с использованием многофакторного эксперимента. Жир-сырец страуса внутренний был отобран в условиях ООО «Русский страус», Серпуховской район, Московская область, при плановом убое птицы в возрасте 12–14 месяцев (таблица 1).

Таблица 1.

Характеристика жира-сырца страуса

Table 1.

Characteristics of raw ostrich fat

Показатели Indicators	Характеристика жира-сырца страуса Characteristics of raw ostrich fat
Внешний вид Appearance	Внутренняя жировая ткань от белого до светло-желтого цвета, запах специфический, слабо выражен, свойственный данному виду жира Internal adipose tissue from white to light yellow, specific odor, slightly pronounced, characteristic of this type of fat
Массовая доля: % Mass fraction: %	
влаги moisture	10,0
жира fat	89,4
белка protein	0,50
зола ash	0,02
Кислотное число, мгКОН/г Acid number, mgKOH/g	1,3
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг Peroxide value, mmol of active oxygen/kg	2,1
Температура °С: Temperature °C:	
плавления melting	30–33
застывания solidification	20–22

Для получения водной фазы католита предварительно готовили 10 % раствор хлорида натрия, который подвергали электролизу в электрохимическом реакторе (патент на полезную модель № 76920 RU,

опубл. 10.10.2008). Техническая характеристика свойств полученной электрохимически активированной жидкости (католита) представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Техническая характеристика электролита (католита)

Table 2.

Technical characteristics of electrolyte (catholyte)

Показатель Indicator	Характеристика католита Characterization of catholyte
Сила постоянного тока, А DC power, A	0,5–0,6
Напряжение постоянного тока, В DC voltage, V	40–42
pH	7,5–11
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) относительно хлорсеребряного электрода, мВ Redox potential (ORP) relative to silver chloride electrode, mV	(-400) – (-700)
Массовая доля NaCl, % Mass fraction of NaCl, %	3–5

Получение топленого жира страуса включало измельчение жировой ткани (жира-сырца), смешивание его с водной фазой – электроактивированной жидкостью, термическую обработку при различных

температурах с постоянным перемешиванием сырья и отделение жира [19]. В таблице 3 приведены условия и параметры вытапливания жира страуса.

Таблица 3.

Уровни варьирования факторов вытапливания жира страуса в присутствии электроактивированной жидкости

Table 3.

The variation levels of the factors in the melting fat of the ostrich in the presence electroactive-bath fluid

Факторы Factors	-α (-1,21)	-1	0	+1	+α (+1,21)
Время, мин (Z ₁) Time, min (Z ₁)	25	30	45	60	65
pH (Z ₂) pH (Z ₂)	7,5	8	9	10	10,5
Температура, °C (Z ₃) Temperature, °C (Z ₃)	50	55	75	95	100

Вектор и силу влияния технологических параметров жирирования в электрохимической активированной среде (католите) на выход и качество топленого продукта устанавливали опытным и расчетным путем, используя метод математического планирования эксперимента – ортогональные центрально-композиционные планы Бокса-Уилсона (ОЦКП). Основными технологическими факторами были выбраны продолжительность вытапливания, X₁(Z₁), pH электроактивированной среды, X₂(Z₂), температура обработки жира-сырца, X₃(Z₃). Функции отклика – кислотное (Y₁), перекисное (Y₂) числа и выход топленого жира страуса. (Y₃).

Для описания эксперимента составляли матрицу композиционного плана второго порядка, число точек плана равно величине:

$$N = N_1 + 2k + N_0.$$

При числе факторов k = 3 общее число опытов в матрице композиционного плана второго порядка составило: N₁=2³=8, N=8+2×3+1=15.

где N₁ – число точек полного факторного эксперимента 2^k, при k=3 факторов и при двух уровнях варьирования; 2k – число парных точек, расположенных на осях координат; N₀ – число опытов в центре плана.

При построении математической модели 2^k учитывали число «звездных точек», расположенных на координатных осях факторного пространства и точки в центре плана. Величина α – расстояние от центра плана до звездной точки – звездное плечо. Значение α зависит от числа факторов и количества опытов в центре плана, в нашем случае для k = 3 и N₀ = 1, звездное плечо $\alpha = \sqrt{1,476} \approx 1,2115$.

В результате расчётов по матрице получали уравнение, которое имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + \\ & + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots \\ & + b_{k-1}x_{k-1}x_k + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{kk}x_k^2 \end{aligned} \quad (1)$$

где b₀ – свободный член уравнения; x₁, x₂...x_n – факторы, определяющие уровень изучаемого результивного параметра; b₁, b₂...b_n – коэффициенты регрессии при факторных показателях, характеризующие уровень влияния каждого фактора на результивный параметр в абсолютном выражении.

Значимость коэффициентов уравнения устанавливали с учетом дисперсий воспроизводимости (S²_{воспр.}), а также критерия Стьюдента:

$$S_{\text{воспр.}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (y_u^0 - \bar{y}^0)^2}{n-1} \quad (2)$$

где n – число опытов в центре плана;

Коэффициенты уравнения регрессии определяли с разной точностью:

$$\begin{aligned} S_{b_0} &= \frac{S_{\text{воспр.}}}{\sqrt{N}} \\ S_{b_j} &= \frac{S_{\text{воспр.}}}{\sqrt{2^k + 2\alpha^2}}, \quad j = 1, 2, k \text{ при } k < 5 \\ S_{b_{uj}} &= \frac{S_{\text{воспр.}}}{\sqrt{2^k}}, \quad u, j = 1, 2, \dots, k, \text{ при } k < 5 \end{aligned} \quad (3)$$

$$S_{b_{jj}} = \frac{S_{\text{воспр.}}}{\sqrt{2^k (1 - \bar{x}_j^2)^2 + 2(\alpha^2 - \bar{x}_j^2)^2 + n_0 (\bar{x}_j^2)^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, k, \text{ при } k < 5$$

Табулированное значение критерия Стьюдента для уровня значимости p=0,05 и числа степеней свободы f=3 t_p(f) = 3,18.

Для проверки адекватности полученного уравнения определяли остаточную (адекватности) дисперсию и F-отношение:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{N-l} \quad (4)$$

где y_i – экспериментальное значение; \bar{y}_i – расчетное значение, найденное по уравнению; l – количество значимых факторов

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{воспр}}^2} \quad (5)$$

По таблице находили значение критерия Фишера: $F_{1-p} = (f_1, f_2)$. Уравнение адекватно, если полученное F -отношение меньше табличного $F < F_{1-p} (f_1, f_2)$ для выбранного уровня значимости, в нашем случае $p=0,05$ и чисел степеней свободы. Число степеней свободы для остаточной дисперсии $f_1=N-1$, а число степеней $f_2=n-1$.

Исследования показателей качества топленого жира проводили по ГОСТ Р 54676–2011 Жиры птицы пищевые. Технические условия; ГОСТ Р ИСО 27107–2010 Жиры и масла животные и растительные.

В экспериментах по изучению токсико-гигиенических свойств топленого жира использовали полученных из вивария ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина здоровых по внешнему виду животных. Животные имели ветеринарный сертификат и содержались на стандартном пищевом рационе. После содержания в карантине и последующей выбраковки животные были распределены по группам. Подопытные и контрольные животные содержались в одинаковых условиях.

Определение токсичности жира страуса осуществляли согласно «Руководству по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» под редакцией Р.У. Хабриева (2005), по ГОСТ 12.1.007–76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», а также на основе требований, изложенных в ГОСТ 32296–2013 «Методы испытаний химической продукции на организм человека. Основные требования к проведению испытаний по оценке острой токсичности при внутрижелудочном поступлении методом фиксированной дозы», «Методическим рекомендациями, по токсико-экологической оценке, лекарственных средств, применяемых в ветеринарии», РАСХН (1998) и «Научно-методологическими аспектами исследования токсических свойств фармакологических лекарственных средств для животных» (Смирнов А.М., Дорожкин В.И., 2008). В качестве подопытных лабораторных животных использовали 60 беспородных белых мышей и 60 аутбредных крыс линии Wistar, объединенных в группы аналогов по показателям живой массы, а также 5 кроликов породы Белый великан.

При изучении острой токсичности жира страуса из лабораторных животных каждого вида формировали 6 групп по 10 животных в каждой, первые 5 групп – опытные, 6-я группа служила контролем. В качестве контроля использовали изотонический раствор хлорида натрия. Испытуемые образцы жира вводили в пяти различных дозировках для мышей и для крыс (таблица 7) per os с помощью зонда, имеющего на конце булавовидное утолщение (оливу), утром, натощак. Дозы исчисляли в мл на кг массы тела животных (мг действующего вещества на кг массы тела). Животные находились под наблюдением в течение 2 недель.

Определение раздражающих свойств топленого жира страуса проводили путем многократного нанесения его на неповрежденную кожу на выстриженном участке хребтовой части шкурки кролика в течение двух недель. Определение раздражающих свойств топленого жира страуса на слизистые оболочки выполняли путем однократного внесения в конъюнктивальный мешок глаза кролика 50 мг продукта. Кожно-резорбтивные свойства топленого жира оценивали по так называемому смертельному эффекту. Для оценки патологоанатомических изменений животные были подвергнуты вскрытию с оценкой поверхности тела, места введения, всех проходов, черепной, грудной, брюшной полостей и их содержимого.

Результаты и обсуждение

Электрохимическая активация водных растворов основана на переводе жидкостей в метастабильное состояние электрохимическим анодным или катодным воздействием и дальнейшем ее использовании для направленных физико-химических воздействий в технологических процессах [8]. К биологическим свойствам католита относят антиоксидантные, стимулирующие иммунитет организма, регенерацию тканей, рост и деление клеток [18, 20]. Для выбора оптимальных технологических условий и параметров вытапливания, обеспечивающих раздельное получение жировых фракции, характеризующихся различной температурой плавления, функциональными свойствами, а также высокими выходом и показателями качества проводили серию экспериментальных опытов, которые впоследствии обрабатывали статистически, составляя ортогональные планы второго порядка по выходу, кислотному и перекисному числам (таблица 4–6).

Таблица 4.

Ортогональный план второго порядка по показателю кислотного числа жира страуса

Table 4.

Orthogonal plan of the second order in terms of acid number of ostrich fat

Z_1 , min	Z_2	Z_3 , °C	Y_1 , мгКОН/г	$Y_{\text{расч.}}$, мгКОН/ г	$(Y_1 - Y_{\text{расч.}})^2$
60	10	95	0,48	0,55	0,0045
30	10	95	0,44	0,51	0,0045
30	8	95	1,21	1,21	0
30	8	55	0,37	0,37	0
60	8	95	1,68	1,68	0
60	8	55	0,99	0,99	0
60	10	55	0,77	0,69	0,00005
30	10	55	0,60	0,57	0,00073
65	9	75	0,89	0,85	0,00139
25	9	75	0,54	0,56	0,00029
45	10,5	75	0,52	0,53	0,00012
45	7,5	75	1,10	1,13	0,0009
45	9	100	1,06	1,09	0,0009
45	9	50	0,72	0,71	0,0001
45	9	95	0,79	0,79	0
45	9	95	0,78	0,79	0,001
45	9	95	0,83	0,79	0,001
45	9	95	0,80	0,79	0,0001

Для выявления зависимостей было рас- считано уравнение регрессии (6) на основе полученных данных, представленных в таблице 4.

$$Y = 0,792 + 0,147X_1 - 0,248X_2 + 0,158X_3 - 0,125X_1X_2 - 0,038X_1X_3 - 0,225X_2X_3 - 0,08X_1^2 + 0,027X_2^2 + 0,075X_3^2 \quad (6)$$

Расчет математической модели (уравне- ние (6)) указывает на то, что все коэффициенты значимы (формулы (3)), и уравнение адекватно описывает эксперимент при уровне вероятности $p=0,05$. Согласно полученным данным, равнона- правленное действие на показатель кислотного числа жира страуса оказывают продолжительность вытапливания и термическая обработка сырья. С увеличением значений указанных факторов вероятен рост окислительной порчи продукта, что подтверждают полученные значения: при времени обработки 60 мин и температуре 95 °С кислотное число жира страуса равно 1,68 мг КОН/г. Тоже можно отметить и при температуре вытаплива- ния жира 100 °С указанный показатель составил 1,06 мг КОН/г. Обратная зависимость выявлена по водородному показателю водной фазы католита, обеспечивающий снижение кислотного числа жира, что особенно хорошо заметно в комплексном взаимодействии с такими фак- торами, как температура и продолжительность обработки сырья.

Сравнительный анализ подтверждает положительную динамику по показателю кислотного числа готового продукта при жироз- извлечении с рН католита в диапазоне 10–10,5 независимо от температуры и продолжительно- сти процесса (таблица 4). Значение кислотного числа жира страуса в указанном интервале вод- ной фазы католита не превышало 0,77 мг КОН/г даже при температуре нагрева 55 °С. В процессе переработки жиры подвергаются двум основным превращениям – липолиз и окисление. Интен- сивность протекания этих изменений зависит от множества факторов, включая вид и продол- жительность технологической обработки. Триг- лицериды и диацилглицериды гидролизуются за счет трех липазных систем: липопротеиновой липазы, гормоночувствительной липазы и кислой липазы, расположенных в кровеносных сосудах, цитозоле и лизосомах, соответственно [21]. Несмотря на то, что инактивация ферментной системы может быть достигнута путем воздей- ствия на сырье высокими температурами, преимущества вытапливания жира страуса в электрохимически активированной жидкости хорошо заметны при температуре жирозвлече- ния равной 50 °С (кислотное число 0,72 мг КОН/г).

Таблица 5.

Ортогональный план второго порядка по показателю перекисного числа жира страуса

Table 5.

Second-order orthogonal plan for ostrich fat peroxide

Z ₁ , min	Z ₂	Z ₃ , °C	Y ₂ , mmol of active oxygen/kg	Y _{calc.} , mmol of active oxygen/kg	(Y ₂ -Y _{расч.}) ²
60	10	95	1,78	1,80	0,0006
30	10	95	1,58	1,60	0,0004
30	8	95	1,95	1,90	0,002
30	8	55	1,66	1,64	0,0004
60	8	95	2,50	2,53	0,0009
60	8	55	1,96	1,86	0,01
60	10	55	1,62	1,54	0,0036
30	10	55	1,56	1,54	0,0004
65	9	75	1,78	1,79	0,0001
25	9	75	1,54	1,53	0,0001
45	10,5	75	1,81	1,81	0
45	7,5	75	2,12	2,19	0,005
45	9	100	2,01	2,01	0
45	9	50	1,69	1,69	0
45	9	95	1,85	1,85	0
45	9	95	1,85	1,85	0
45	9	95	1,89	1,85	0,0016
45	9	95	1,81	1,85	0,0016

В результате расчетного анализа экспери- ментально полученных данных перекисного числа жира страуса (таблица 5) было состав- лено уравнение зависимости исследуемых факторных признаков:

$$Y = 1,85 + 0,107X_1 - 0,155X_2 + 0,133X_3 - 0,1068X_1X_2 + 0,103X_1X_3 - 0,1031X_2X_3 - 0,1265X_1^2 + 0,103X_2^2 - 0,031X_3^2 \quad (7)$$

Статистическая проверка коэффициентов регрессии (формулы (3–6)) выявила, что только 9 из 10 значимы и уравнение (8), которое приве- дено ниже адекватно эксперименту при $p=0,05$ $S_{\text{воспр}}=0,0011$, $S_{\text{ост.}}=0,0039$; F -критерия Фишера 3,54 при $F=(f_1, f_2) = (6; 3)$ (формулы (2,7)).

$$Y = 1,85 + 0,107X_1 - 0,155X_2 + 0,133X_3 - 0,1068X_1X_2 + 0,103X_1X_3 - 0,1031X_2X_3 - 0,1265X_1^2 + 0,103X_2^2 \quad (8)$$

Согласно приведенному уравнению ре- грессии (8) на перекисное число равное влияние, направленное на увеличение изучаемого показателя, оказывают продолжительность и температура вытапливания жира в отличие от рН водной фазы электроактивированной жидкости. Кроме того, тройное перекрестное взаимодействие водородного показателя с температурой и временем обработки сырья

способствует снижению накопления перекисных соединений в жировом продукте (таблица 5). В ходе вытапливания жира при температуре 50–55 °С и рН католита не ниже 9 перекисное число установлено в интервале значений 1,56–1,81 ммоль активного кислорода/кг. С повышением температуры до 95 °С, продолжительности процесса 60 мин и рН католита 10 перекисное число жира составило всего 1,78 ммоль активного кислорода/кг, что подтверждает ингибирующее действие электрохимической среды не только на липолиз, но и окислительную деградацию липидов.

При разработке технологии наравне с качественным анализом топленого жира важное значение имеет производительность по выходу готового продукта, которая зависит от многих факторов: вида сырья, правильности проведения процесса, способа обработки и другие. Результаты по выходу жира страуса представлены в таблице 6.

Таблица 6.
Ортогональный план второго порядка по показателю выхода жира страуса

Table 6.
Second-order orthogonal plan for ostrich fat output

Z ₁ , min	Z ₂	Z ₃ , °C	Y ₃ , %	Y _{расч.} , %	(Y ₃ -Y _{расч.}) ²
60	10	95	88,9	89,81	0,83
30	10	95	80,3	80,28	0,06
30	8	95	74,2	75,84	2,69
30	8	55	70,0	70,73	0,53
60	8	95	81,5	82,69	1,42
60	8	55	74,3	75,12	0,68
60	10	55	83,1	82,24	0,73
30	10	55	75,6	75,17	0,19
65	9	75	84,1	84,73	0,40
25	9	75	75,5	76,30	0,65
45	10,5	75	83,6	83,6	0
45	7,5	75	75,7	76,62	0,85
45	9	100	85,3	84,73	0,32
45	9	50	76,5	77,06	0,31
45	9	95	82,0	81,96	0,002
45	9	95	81,0	81,96	0,92
45	9	95	81,9	81,96	0,004
45	9	95	81,5	81,96	0,21

Согласно результатам по выходу жира, полученного при мокром вытапливании в электрохимически активированной жидкости (таблица 6) уравнение регрессии (9) имеет следующий вид:

$$Y = 81,96 + 3,481X_1 + 2,89X_2 + 3,17X_3 + 0,67X_1X_2 + 0,613X_1X_3 + 0,27X_2X_3 - 0,985X_1^2 - 1,26X_2^2 - 0,728X_3^2 \quad (9)$$

$$Y = 81,96 + 3,481X_1 + 2,89X_2 + 3,17X_3 + 0,67X_1X_2 + 0,613X_1X_3 - 0,985X_1^2 - 1,26X_2^2 - 0,728X_3^2 \quad (10)$$

Как видно из данных математической модели, все три выбранные факторы будут оказывать существенное влияние на показатель выхода жира (уравнение (10)). Причем, значимо влияют на производительность по выходу 9 коэффициентов уравнения (10): при $r=0,05$ $S_{\text{воспр.}}=0,207$, $S_{\text{ост.}}=1,53$; критерий Фишера $F=(f_1, f_2)=(6; 3)=7,39$ (формулы (2, 5)).

Перекрестное взаимодействие водородного показателя католита и температуры обработки сырья не будет способствовать увеличению указанного показателя, в отличие от других парных коэффициентов регрессии. Согласно полученным результатам (таблица 6), наибольший выход топленого жира отмечен при следующих технологических параметрах вытапливания: время и температура обработки соответственно 60 мин и 95 °С, рН католита 10.

Следует отметить, что применение электроактивированной жидкости позволило сократить в 2 раза время жириозвлечения без значительных потерь по выходу готового продукта (таблица 6): при продолжительности вытапливания 30 мин, температуре 95 °С и рН католита 10 – производительность по жиру составила 80,3 %. С повышением рН католита до 10,5 удалось снизить время и температуру вытапливания соответственно до 45 мин и 75 °С с сохранением высокого значения выхода жира, что подтверждает эффективность применения электролита, а также возможность моделировать условия и параметры вытапливания в зависимости от поставленной технической задачи. Однако, важно учитывать, что снижение водородного показателя электрохимически активированной среды приведет к обратному эффекту.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что для получения жира с качественными и количественными показателями, соответствующими требованиям нормативно-технической документации и целевому назначению продукта, температура, рН и продолжительность вытапливания должны быть соответственно не ниже 55 °С, 10 и не менее 45 мин.

Для подтверждения безопасности полученного по предлагаемой технологии жира страуса были проанализированы его токсико-гигиенические характеристики (таблица 7). Результаты исследования острой токсичности образцов жира страуса на лабораторных животных представлены в таблице 7.

Таблица 7.

Параметры острой токсичности жира страуса

Table 7.

Parameters of acute toxicity of ostrich fat

Группа Group	Вид животных Type of animals	Количество животных Number of animals	Доза, мг/кг Dose, mg/kg	Пало/Выжило Dead/Survived
жир-сырец страуса raw ostrich fat				
1–5	мыши mouse	50	0,50–1,50	0/10–0/10
1–5	крысы rats	10	5,0–15,0	0/10–0/10
пищевой внутренний топленый жир страуса food domestic ostrich melted fat				
1–5	мыши mouse	10	0,50–1,50	0/10–0/10
1–5	крысы rats	10	5,0–15,0	0/10–0/10
Контроль Control				
контроль control	мыши mouse	10	1,50	0/10–0/10
контроль control	крысы rats	10	15,0	0/10–0/10

Как следует из представленных данных, внутрижелудочное введение как жира сырца, так и топленого жира страуса в указанных дозах, не вызвало видимых клинических признаков токсикоза в организме белых мышей и крыс. Общее состояние животных в течение двух недель на протяжении всего эксперимента сохранялось удовлетворительным. Опытные животные адекватно реагировали на внешние раздражители, их аппетит не был нарушен, они имели гладкий, блестящий шерстный покров, эластичную кожу, розовые слизистые оболочки. Гибели животных зафиксировано не было. Следовательно, величины LD₅₀ для испытанных продуктов находятся выше 5 мг/кг. Таким образом, согласно полученным данным, топленый жир страуса можно отнести к IV классу мало опасных продуктов по ГОСТ 12.1.007–76.

Однократная аппликация топленого жира страуса на выстриженный участок кожи кролика площадью 5,6 см² в количестве 20 мг/см² открытым способом не вызвала каких-либо признаков раздражения кожи. Повторное воздействие в течение двух недель также не повлияло на состояние кожи у кроликов. Таким образом, топленый жир не оказывает раздражающий эффект на неповрежденную кожу лабораторных животных при однократном, либо повторном нанесении.

Внесение в конъюнктивальный мешок глаза кролика 50 мг топленого жира страуса вызвало легкую гиперемии слизистых оболочек, которая прошла в течение 5 мин, что позволило сделать вывод о неэффективности топленого жира как раздражающего агента. Исследование способности образцов топленого жира проникать через неповрежденные кожные покровы проводили на белых мышах (по 10 животных в группе),

хвосты которых на 2/3 длины погружали в топленый жир страуса на 2 ч в день. В течение 2 недель опыта в группе подопытных животных не было зарегистрировано гибели, изменения в поведении животных, а также других внешних признаков, свидетельствующих о проникновении топленого жира в организм через кожу в дозах, способных вызывать гибель животных.

Видимых патологоанатомических изменений при вскрытии животных всех групп не отмечалось. Макроскопическая характеристика органов соответствовала здоровому организму, массовые коэффициенты органов животных контрольных групп не отличались от значений коэффициентов органов контрольных групп.

Заключение

Проведенные многоплановые исследования подтверждают преимущества вытапливания жира в присутствии электроактивированной жидкости и безопасность полученного продукта по предлагаемой технологии, в основе которой лежит принцип комплексного воздействия физико-химических и механических способов на процесс жириозвлечения. Возможность контролировать и регулировать температурный режим при сокращении продолжительности процесса для получения высоких выходов целевого продукта с заданной температурой плавления, а также обеспечивать одновременное снижение его кислотного и перекисного чисел, обуславливают эффективность предлагаемого технического решения по сравнению с существующими. Немаловажным является допустимость использования разработанных научно-методологических основ для получения не только жира страуса, но и других жиров животного происхождения

Литература

- 1 Коршунов Б.П. Энергосберегающие электротехнологии в сельском хозяйстве: анализ и перспективы // Вестник ВИЭСХ. 2015. № 1 (18). С. 12–17.
- 2 Чугунова О.В., Заворохина Н.В. Перспективы создания пищевых продуктов с заданными свойствами, повышающих качество жизни населения // Journal of new economy. 2014. № 5 (55). С.120–125.
- 3 Юдаев И.В., Кокурин Р.Г., Даус Ю.В. Изучение процесса электроимпульсного плазмолиза растительного сырья // Известия НВ АУК. 2018. № 2 (50). С. 346–354.
- 4 Лобасенко Б.А., Котляров Р.В., Сазонова Е.К. и др. Совершенствование технологии переработки молочного сырья с использованием мембранных аппаратов нового типа // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т.49. № 4. С. 587–593. doi: 10.21603/2074-9414-2019-4-587-593
- 5 Калинина И.В., Фаткуллин Р.И. Инновационное развитие предприятий пищевой отрасли: проблемы и перспективы // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2015. № 3. С. 17–22. doi: 10.14529/food150303
- 6 Красавцев Б.Е., Цатурян А.С., Симкин В.Б., Александров Б.Л., и др. Промышленная установка для электрохимической активации воды // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 110. С. 786–800.
- 7 Бахир В.М. Электрохимическая активация. Часть 2. М.: ВНИИИМТ, 1992. 657 с.
- 8 Томилов А.П. Электрохимическая активация – новое направление прикладной электрохимии // Жизнь и безопасность. 2002. № 3. С. 302–307.
- 9 Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия. М.: ВНИИИМТ, 1997. 228 с.
- 10 Осадченко И.М., Филатов А.С., Чамурлиев Н.Г. Разработка способа получения мясного фарша с использованием электроактивированных растворов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1 (45). С. 109–114.
- 11 Пат. № 2090594, RU, С11В 1/10. Способ извлечения жира из жиросодержащего сырья / Маслова Г.В., Василевский П.Б. № 2008150051/13; Заявл. 22.08.95; Оpubл. 20.09.97.
- 12 Jiménez-Pichardo R., Regalado C., Castaño-Tostado E., Santos-Cruz J. et al. Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry // Food Control. 2016. V. 60. P. 320–328. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.011
- 13 Thorn R.M.S., Lee S.W.H., Robinson G.M., Greenman J. et al. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments // European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. 2012. V. 31 (5). P. 641–653. doi: http://dx.doi.org/10.1007/s10096-011-1369-9
- 14 Aïder M., Kastyuchik A., Gnatko E., Benali M. et al. Electro-activated aqueous solutions: theory and application in the food industry and biotechnology // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2012. V. 15. P. 38–49. doi: 10.1016/j.ifset.2012.02.002
- 15 Kitanovski V.D., Vlahova-Vangelova D.B., Dragoev S.G., Nikolov H.N. et al. Effect of electrochemically activated anolyte on the shelf-life of cold stored rainbow trout // Food Science and Applied Biotechnology. 2018. V. 1 (1). P. 1–10. doi: 10.30721/fsab 2018.v1.i1
- 16 Pasko O.A. Metabolism in amaranthus l. seeds after their treatment // Agricultural Biology. 2013. V. 3. P. 84–91. doi: 10.15389/агробиология.2013.3.84eng
- 17 Пат. № 2382072, RU, С11В 1/12, 1/00. Способ получения топленого жира страуса / Патентообладатель: ООО «Сельскохозяйственное предприятие «Приреченский». № 2008150051/13; Заявл. 18.12.2008; Оpubл. 20.02.2010, Бюл. № 5.
- 18 Пат. № 2563935, RU, С11В 1/00. Способ получения масла из виноградной косточки / Тарасов С.В., Мартовщук В.И., Мгебришвили Т.В., Тарасов В.Е. № 2013114296/13; Заявл. 29.03.2013; Оpubл. 27.09.2015, Бюл. № 28.
- 19 Пат. № 2525269, RU, С11В 3/00. Способ рафинации растительного масла / Красавцев Б.Е., Цатурян А.С., Симкин В.Б., Александров Б.Л., Александрова Э.А. № 2012121736/13; Заявл. 25.05.2012; Оpubл. 10.08.2014, Бюл. № 22.
- 20 Горбачева М.В., Тарасов В.Е., Сапожникова А.И. Оптимизация условий и параметров получения электроактивированной жидкости для вытапливания жира страуса // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 8 (32). С. 88–96.
- 21 Пасько О.А., Гомбоев Д.Д. Активированная вода и возможности ее применения в сельском хозяйстве. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 378 с.
- 22 Лисицын А.Б., Туниева Е.К., Горбунова Н.А. Окисление липидов: механизм, динамика, ингибирование // Журнал Все о мясе. 2015. № 1. С.10–14.

References

- 1 Korshunov B.P. Energy-saving electrical technologies in agriculture: analysis and prospects. Bulletin VIESH. 2015. no. 1 (18). pp. 12–17. (in Russian).
- 2 Chugunova O.V., Zavorokhina N.V. Prospects for creating food products with desired properties that increase the quality of life of the population. Journal of new economy. 2014. no. 5 (55). pp.120–125. (in Russian).
- 3 Yudaev I.V., Kokurin R.G., Daus Yu.V. Studying the process of electropulse plasmolysis of plant materials. Bulletin of AUK. 2018. no. 2 (50). pp. 346–354. (in Russian).
- 4 Lobasenko B.A., Kotlyarov R.V., Sazonova E.K. et al. Improving the technology for processing milk raw materials using a new type of membrane apparatus. Food processing: techniques and technology. 2019. vol. 49. no. 4. pp. 587–593. doi: 10.21603/2074-9414-2019-4-587-593 (in Russian).
- 5 Kalinina I.V., Fatkullin R.I. Innovative development of food industry enterprises: problems and prospects. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2015. no. 3. pp.17–22. doi: 10.14529/food150303 (in Russian).
- 6 Krasavtsev B.E., Tsaturyan A.S., Simkin V.B., Aleksandrov B.L. et al. Industrial installation for electrochemical activation of water. Scientific journal KubGAU. 2015. no. 110. pp.786–800. (in Russian).
- 7 Bakhir V.M. Electrochemical activation. Part 2. Moscow, VNIIMT, 1992. 657p. (in Russian).
- 8 Tomilov A.P. Electrochemical activation – a new direction in applied electrochemistry. Life and Security. no. 3. 2002. pp. 302–307. (in Russian).

- 9 Prilutsky V.I., Bakhir V.M. Electrochemically activated water: abnormal properties, biological mechanism of action. Moscow, VNIIMT, 1997. 228 p. (in Russian).
- 10 Osadchenko I.M., Filatov A.S., Chamurliiev N.G. Development of a method for producing minced meat using electroactivated solutions. Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2017. no. 1 (45). pp.109–114. (in Russian).
- 11 Maslova G.V., Vasilevsky P.B. Method of isolating fat from fat-containing raw material. Patent RF, no. 2090594, 2015.
- 12 Jiménez-Pichardo R., Regalado C., Castaño-Tostado E., Santos-Cruz J. et al. Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry. Food Control. 2016. vol. 60. pp. 320–328. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.011
- 13 Thorn R.M.S., Lee S.W.H., Robinson G.M., Greenman J. et al. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. 2012. vol. 31 (5). pp. 641–653. doi: http://dx.doi.org/10.1007/s10096-011-1369-9
- 14 Aïder M., Kastyuchik A., Gnatko E., Benali M. et al. Electro-activated aqueous solutions: theory and application in the food industry and biotechnology. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2012. vol. 15. pp. 38–49. doi: 10.1016/j.ifset.2012.02.002
- 15 Kitanovski V.D., Vlahova-Vangelova D.B., Dragoev S.G., Nikolov H.N. et al. Effect of electrochemically activated anolyte on the shelf-life of cold stored rainbow trout. Food Science and Applied Biotechnology. 2018. vol. 1 (1). pp. 1–10. doi: 10.30721/fsab.2018.v1.i1
- 16 Pasko O.A. Metabolism in amaranthus l. seeds after their treatment. Agricultural Biology. 2013. vol. 3. pp. 84–91. doi: 10.15389/агробиология.2013.3.84eng
- 17 Method of obtaining ostrich melted fat. Patent RF, no. 2382072, 2010.
- 18 Tarasov S.V., Martshchuk V.I., Mgebrishvili T.V., Tarasov V.E. Grape stone oil production method. Patent RF, no. 2563935, 2015.
- 19 Krasavtsev B.E., Tsaturyan A.S., Simkin V.B., Aleksandrov B.L., Alexandrova E.A. Vegetable oil refining method (versions). Patent RF, no. 2525269, 2014.
- 20 Gorbacheva M.V., Tarasov V.E., Sapozhnikova A.I. Optimization of Conditions and Parameters for Obtaining Electroactivated Liquid for Ostrich Fat Rendering. Achievements of science and technology of agribusiness. 2018. no. 8 (32). pp. 88–96. (in Russian).
- 21 Pasko O.A., Gomboev D.D. Activated water and the possibilities of its use in agriculture. Tomsk, TPU Pub., 2011. 378 p. (in Russian).
- 22 Lisitsyn A.B., Tunieva E.K., Gorbunova N.A. Lipid oxidation: mechanism, dynamics, inhibition. Journal of All About Meat. 2015. no. 1. pp. 10–14. (in Russian).

Сведения об авторах

Мария В. Горбачева к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина, ул. Академика Скрябина, 23, г. Москва, 109472, Россия, gmv76@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3654-4440>

Василий Е. Тарасов д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, д. 2, г. Краснодар, 350072, Россия, tarasov@kubstu.ru

Алла И. Сапожникова д.т.н., профессор, кафедра товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, ул. Академика Скрябина, 23, г. Москва, 109472, Россия, fibrilla@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5040-6998>

Светлана А. Калманович д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, д. 2, г. Краснодар, 350072, Россия, kalmanovich@kubstu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7440-3422>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mariya V. Gorbacheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology of raw materials and products of animal and plant origin department, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Academica Scrybina St., 23, Moscow, 109472, Russia, gmv76@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3654-4440>

Vasily E. Tarasov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, cosmetics, commodity science, processes and apparatus department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, tarasov@kubstu.ru

Alla I. Sapozhnikova Dr. Sci. (Engin.), professor, commodity science, technology of raw materials and products of animal and plant origin department, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Academica Scrybina St., 23, Moscow, 109472, Russia, fibrilla@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5040-6998>

Svetlana A. Kalmanovich Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, cosmetics, commodity science, processes and apparatus department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, kalmanovich@kubstu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7440-3422>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/02/2020	После редакции 13/02/2020	Принята в печать 24/02/2020
Received 04/02/2020	Accepted in revised 13/02/2020	Accepted 24/02/2020