ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-21-31
УДК 54-145:664

Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Оптимизация технологии вытапливания жира страуса в присутствии электроактивированной жидкости

М. В. Горбачева[1,*], В. Е. Тарасов[2], С. А. Калманович[2], А. И. Сапожникова[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», 109472, Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23*

[2] *ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2*

Дата поступления в редакцию: 21.11.2019
Дата принятия в печать: 23.03.2020

**e-mail: gmv76@bk.ru*

© М. В. Горбачева, В. Е. Тарасов, С. А. Калманович, А. И. Сапожникова, 2020

Аннотация.
Введение. Создание комплексной и экологически безопасной переработки жира страуса, которая позволит получать топленый жир с заданными свойствами для производства нового поколения товаров пищевого, косметического и иного назначения, является весьма актуальным. Цель работы – оптимизировать параметры вытапливания жира страуса в присутствии электроактивированной жидкости для получения жирового продукта направленного целевого назначения с высокими показателями качества и выходом.
Объекты и методы исследования. Объектом выбран жир страуса, полученный мокрым вытапливанием в водной фазе электролита (католита). Приготовленный солевой раствор хлорида натрия (4 г/100см^3) подвергали электрохимической обработке в электролизере при силе постоянного тока 0,5–0,6 А и напряжении 40–42 В. Для жироизвлечения использовали католит с параметрами: pH 9–11, окислительно-восстановительный потенциал от –600 до –700 мВ. Оптимизацию технологических параметров вытапливания проводили с помощью двухфакторного эксперимента. В качестве первостепенных технологических параметров выбраны водородный показатель католита X_1 (Z_1) и температура вытапливания жира X_2 (Z_2).
Результаты и их обсуждение. Весомое влияние на выход жира оказывает температура обработки жира-сырца. Увеличение водородного показателя католита в совокупности с температурным фактором оказывает отрицательное воздействие на жироизвлечение. На кислотное число жира страуса существенно влияет pH католита. Инактивирующий механизм действия католита на ферментативные процессы хорошо коррелирует с низкими значениями перекисного числа жира.
Выводы. Оптимальными для получения жира страуса с высокими потребительскими свойствами можно считать области водородного показателя в интервале 10,5–11,0 и температурой вытапливания 60,0–100,0 °С.

Ключевые слова. Жироизвлечение, электролиз, католит, страусоводство, пищевое производство

Финансирование. Работа выполнена в рамках Соглашения с Минобрнауки России №14.607.21.0161.

Для цитирования: Оптимизация технологии вытапливания жира страуса в присутствии электроактивированной жидкости / М. В. Горбачева, В. Е. Тарасов, С. А. Калманович [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 21–31. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-21-31.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Ostrich Fat Production Using Electrolyzed Fluid

M.V. Gorbacheva[1,*], V.E. Tarasov[2], S.A. Kalmanovich[2], A.I. Sapozhnikova[1]

[1] *K.I. Skryabin Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, Akademika Skryabina Str., Moscow, 109472, Russia*

[2] *Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia*

Received: November 21, 2019
Accepted: March 03, 2020

**e-mail: gmv76@bk.ru*

© M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova, 2020

Abstract.
Introduction. The fundamental competitiveness of all food industries is based on two key points. The first one is the effective use of traditional and new raw materials. The second one is a constant upgrade of the technical base by introducing innovative technological solutions and modern equipment. In this aspect, the fat processing industry is no exception. The development of a comprehensive and sustainable processing of ostrich fat can help to obtain rendered fat with specufic properties that can be used in functional foods and cosmetics. The research objective was to improve the parameters of ostrich fat rendering by using electrolyzed fluid in order to obtain a functional fat product of high quality indicators.
Study objects and methods. The research featured ostrich fat obtained by wet melting in the aqueous phase of electrolyte (catholyte). A saline solution of sodium chloride (4 g/100cm^3) was subjected to electrochemical treatment in an electrolytic bath with a direct current of 0.5–0.6 A and a voltage of 40–42 V. For fat extraction, we used catholyte with the following parameters: pH 9–11, redox potential between –600 and –700 mV. A two-factor experiment helped to improve the technological parameters of fat rendering. Catholyte hydrogen index X_1 (Z_1) and fat melting temperature X_2 (Z_2) were chosen as the primary technological parameters.
Results and discussion. The processing temperature of raw fat had a significant effect on the fat yield. When the catholyte hydrogen index and the temperature were increased, it had a negative effect on fat extraction. The acid value of ostrich fat was significantly affected by the pH of catholyte. The inactivating effect of catholytic action on the enzymatic processes resulted in low values of peroxide fat.
Conclusion. The research provided the following optimal range for producing ostrich fat with improved consumer properties: hydrogen index = 10.5–11.0, melting temperature = 60.0–100.00°C.

Keywords. Fat extraction, electrolysis, catholyte, ostrich farming, food production

Funding. The research was performed as part of the Agreement with the Ministry of Education and Science of Russia, No. 14.607.21.0161.

For citation: Gorbacheva MV, Tarasov VE, Kalmanovich SA, Sapozhnikova AI. Ostrich Fat Production Using Electrolyzed Fluid. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):21–31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-21-31.

Введение

Роль инновационной составляющей в развитии пищевой и перерабатывающей промышленности крайне велика. Принципиальное значение имеет как ассортимент используемого сырья, так и внедрение новых технологий, обеспечивающих оптимизацию производственного цикла, безопасность и высокое качество выпускаемой продукции нового поколения с заданными характеристиками, ее конкурентоспособность на международном рынке. На сегодняшний день потенциал, который надо развивать, – это переход к ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим безотходное производство с минимальным воздействием на окружающую среду, а также переработка новых видов сырья, полученных с использованием инновационных решений [1].

Самый большой сегмент пищевой промышленности по переработке мяса приходится на мясную промышленность. Параллельно с переработкой основного сырья образуется большое количество жиросодержащих продуктов. Жиры сельскохозяйственных животных и птицы представляют собой крайне необходимое для перерабатывающих отраслей сырье, которое занимает значительный объем в заготовках вторичной продукции животного происхождения [2].

Жир страуса относительно новый для отечественного потребительского рынка, но востребованный в мировой практике, сырьевой продукт для производства косметических, фармацевтических и пищевых товаров [3]. В современной России интерес к разведению страусов растет. Выращивают страусов в небольших частных хозяйствах, общее поголовье составляет более 4 тыс голов. Однако специалисты отрасли сходятся во мнении, что цифры несколько занижены [4, 5].

Все жиры и масла состоят из триацилглицеринов и сопутствующих веществ (фосфолипидов, стеринов, токоферолов, свободных жирных кислот и др.). Причем триацилглицерины жиров содержат в основном насыщенные жирные кислоты, а триацилглицерины масел – ненасыщенные [6]. Благодаря превалированию в составе жира страуса ненасыщенных жирных кислот и возможности разделения его на легкоплавкую и тугоплавкую фракции, он отличается от других видов жиров животного происхождения.

Одним из актуальных направлений научной косметологии является поиск эффективного натурального сырья, к которым можно отнести жир страуса, для создания новых косметических средств. К настоящему времени разработаны многочисленные варианты рецептурно-компонентных составов косметических средств и биологически-активных добавок на основе жира страуса как эмолента и источника биологически-активных веществ [7]. Химические константы и физические показатели

жира страуса свидетельствуют о возможности его использования для производства пищевых продуктов функционального назначения [8, 9]. Большое внимание в работах зарубежных авторов уделено изучению жирно-кислотного и фракционного состава масла страуса, его влиянию на физиологическое состояние организма человека [10–13].

Для обработки мягкого жиросырья наибольшее распространение получил тепловой метод – вытопка, которая осуществляется мокрым и сухим способами. Однако при применении традиционных подходов, а также химического способа в растворе гидроксида натрия для получения жира страуса с регулируемой температурой вытапливания не удалось достигнуть положительных результатов.

Создание комплексной и экологически безопасной переработки жира страуса, которая позволит получать топленый жир с заданными свойствами для производства нового поколения товаров пищевого, косметического и иного назначения, является весьма актуальным. В основе предлагаемой технологии лежит принцип электрохимической активации процесса жироизвлечения, что обуславливает научную новизну настоящих исследований. Способ вытопки заключается в том, что жировое сырье смешивают с водной фазой – электроактивированной жидкостью 1:4 к массе жировой ткани. Жировое сырье также подвергают термической обработке и постоянному перемешиванию с последующим обезвоживанием [14]. Преимущества применения электроактивированных растворов в пищевой и других отраслях промышленности подтверждены отечественными и зарубежными исследованиями [15–21].

Цель работы – оптимизировать условия и параметры вытапливания жира страуса в присутствии электроактивированной жидкости для получения топленого продукта направленного целевого назначения с высокими показателями качества и выходом.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований служил жир страуса, полученный мокрым вытапливанием в водной фазе электролита (католита) с заданными параметрами. Предварительно готовили солевой раствор хлорида натрия (4 г/100 см^3), который насыщали перемешиванием острым паром температурой 140–160 °С, что позволило получить данную концентрацию раствора. Далее подвергали его электрохимической обработке при силе постоянного тока 0,5–0,6 А и напряжении 40–42 В. Процесс электролиза водного раствора NaCl сопровождается выделением газообразного хлора. С целью обеспечения его отделения в верхней части аппарата и отвод через патрубок во внешнюю среду на безопасную для окружающей среды высоту, а также минимизации образования побочных продуктов был использован электролизер, конструкция которого в отличие от стандартных аппаратов, состоящих из двух зон, разделена на три [22]. Для жироизвлечения был применен католит с параметрами: pH 9–11, окислительно-восстановительный потенциал от –600 до –700 мВ [14].

Таблица 1. Уровни варьирования технологического вытапливания жира страуса в электролите (католите)

Table 1. The technological levels of ostrich fat rendering in an electrolyte (catholyte)

Факторы	Z_j^{min}	Z_{j0}	Z_j^{max}
pH $X_1(Z_1)$	9	10	11
Температура $X_2(Z_2)$, °С	45,0	75,0	100,0

В ходе исследований были использованы общепринятые методы. Отбор проб жира осуществляли по ГОСТ Р ИСО 5555-2010. Определение кислотного и перекисного чисел по – ГОСТ Р ИСО 27107-2010. Контроль качества топленого жира проводили по ГОСТ Р 54676-2011. Исследования проводили в 3-кратной повторности. Оптимизацию технологических параметров вытапливания проводили с помощью полного факторного эксперимента для двухфакторной модели. В качестве первостепенных технологических параметров выбраны водородный показатель электроактивированной жидкости $X_1(Z_1)$ и температура вытапливания жира $X_2(Z_2)$ (табл. 1).

Нахождение точки центра плана или уровня находили по уравнению:

$$Z_{j0} = \frac{Z_{jmax}+Z_{Jmin}}{2} \quad (1)$$

где Z_j^{max} – максимальное значение j фактора;

Z_J^{min} – минимальное значение j фактора;

j = 1, 2……k – номер фактора.

Уровни варьирования факторов рассчитывали по формуле:

$$\Delta Z_j = \frac{Z_j^{max}-Z_J^{min}}{2} \quad (2)$$

Необходимое количество опытов в полном факторном эксперименте (ПФЭ) определяли по уравнению:

$$N = n^k = 3^2 = 9 \quad (3)$$

где k – число факторов;

n – количество уровней (три уровня «+», «0», «–»).

В безмерной системе координат верхний уровень равен +1, нижний уровень равен –1, координаты центра плана равны нулю и совпадают с началом координат.

С помощью программного обеспечения Statistika 6,0 в кодированных величинах находили уравнение регрессии, которое имеет следующий вид:

$$\bar{y} = b_0 + b_1\chi_1 + b_2\chi_2 + b_{11}{\chi_1}^2 + b_{12}\chi_1\chi_2 + b_{22}\chi_2^2 \quad (4)$$

где b_0 – свободный член уравнения;

x_1, $x_2 ... x_n$ – факторы, определяющие уровень изучаемого результативного параметра;

b_1, $b_2 ... b_n$ – коэффициенты регрессии при факторных показателях, характеризующие уровень влияния каждого фактора на результативный параметр в абсолютном выражении.

С целью проверки адекватности полученных данных были поставлены опыты в 4 дополнительных контрольных точках. Число контрольных точек и их координаты были обусловлены особенностями эксперимента и прогнозированием возможности использования дополнительных точек для улучшения модели в случае неадекватности уравнения.

Оценку значимости коэффициентов уравнения проводили путем сопоставления абсолютной величины коэффициента $|bj|$ с его доверительным интервалом по формуле (5), используя критерий Стьюдента при уровне значимости $P = 0{,}05$:

$$\Delta b = t_a S_{b_j} \quad (5)$$

где t_a – значение критерия Стьюдента при уровне значимости $P = 0{,}05$ и числе степеней свободы $f_1 = u–1$ (где u – число опытов в центре плана).

Среднеквадратическую ошибку S_{b_j} находили с помощью дисперсии воспроизводимости ($S^2_{\text{воспр}}$) по следующей формуле:

$$S_{bj} = \sqrt{\frac{S^2_{\text{воспр}}}{N}} \quad (6)$$

$$S^2_{\text{воспр}} = \frac{\sum_{u=l}^{n}\left(y_u^0 - \overline{y^0}\right)^2}{n-1} \quad (7)$$

где n – число опытов в центре плана.

Коэффициент считается статистически значимым, когда выполняется условие $|bj| \geq t_a S_{bj}$.

Адекватность полученного уравнения проверяли по критерию Фишера (9) исходя из однородности дисперсии воспроизведения и остаточной (адекватности) дисперсии по формуле:

$$S^2_{\text{ост}} = \frac{\sum_{i=l}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l} \quad (8)$$

где l – количество значимых коэффициентов в уравнении.

$$F = \frac{S^2_{\text{ост}}}{S^2_{\text{воспр}}} \quad (9)$$

По таблице для уровня значимости $P = 0{,}05$ находили табулированное значение критерия Фишера: $F_{1-p} = (f_1, f_2)$.

Если $F < F_{1-p}$ (f_1, f_2), то модель адекватно описывает эксперимент.

Результаты и их обсуждение

План проведения эксперимента (матрицу эксперимента) записывали в виде таблицы, которая включала «собственно план» и вспомогательные столбцы, служащие для обработки результатов уже проведённого эксперимента (табл. 2).

Математическая модель параметров вытапливания жира страуса в кодированных единицах для подбора оптимальных значений по выходу представлена в виде формулы Тейлора:

$$\bar{y} = 88{,}4556 - 0{,}3167\chi_1 + 8{,}7667\chi_2 - \\ - 3{,}0833\chi_1^2 + 0{,}625\chi_1\chi_2 - 2{,}4333\chi_2^2 \quad (10)$$

Расчётным путем определено, что только 1 коэффициент, а именно водородный показатель водной фазы католита незначим, и уравнение (11) адекватно описывает эксперимент: $S_{\text{воспр}}{}^2 = 0{,}25$; $S^2_{ост} = 0{,}95$. Критерий Фишера составил 3,80; $F_{1-p} = (f_5, f_3) = 9{,}01$. Соответственно выполняется условие при уровне вероятности 0,05 $F < F_{1-p.}$

$$\bar{y} = 88{,}4556 - 0{,}3167\chi_1 + 8{,}7667\chi_2 - \\ - 3{,}0833\chi_1^2 + 0{,}625\chi_1\chi_2 - 2{,}4333\chi_2^2 \quad (11)$$

Как видно из коэффициентов уравнения, весомое влияние на выход жира оказывает температура обработки жира-сырца. Следует отметить, что значительное увеличение водородного показателя католита в совокупности с температурным фактором оказывает отрицательное воздействие на жироизвлечение. Зависимость выхода жира-сырца страуса от исследуемых факторов приведена на рисунке 1.

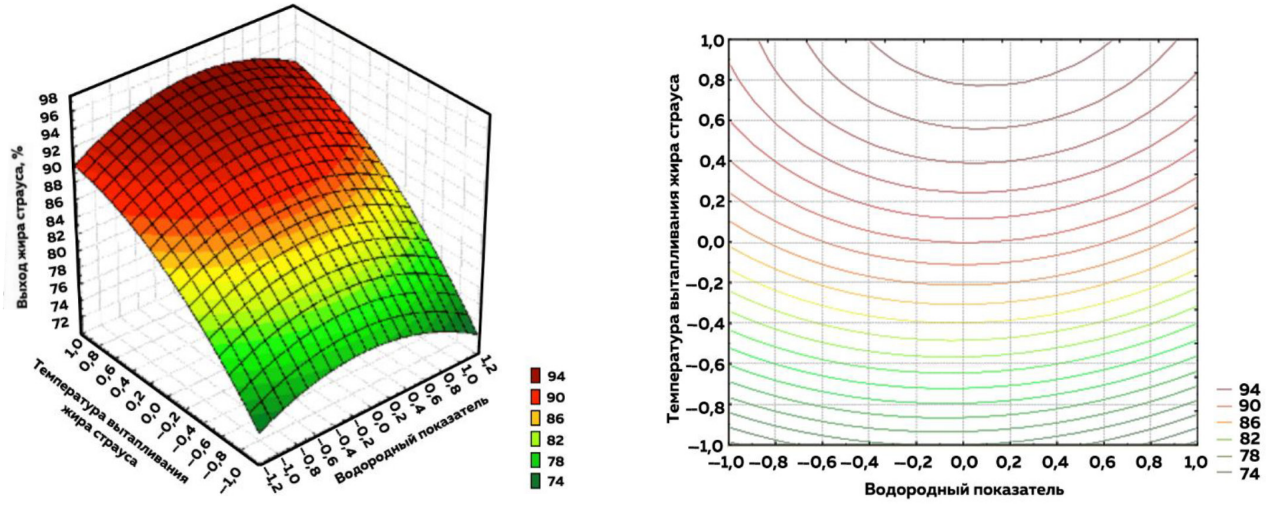
Как видно из данных рисунка 1а, центр плана эксперимента находятся в верхней границе трехмерной выстроенной объемной модели, что

Таблица 2. Полный факторный эксперимент оптимизации условий вытапливания жира по величине выхода продукта

Table 2. Complete factorial experiment in improving the conditions of fat rendering according to the yield

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе*		Факторы в безразмерной системе координат		$y_{i\,\text{экс}}$, %	$\hat{y}_{\text{расч}}$, %	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
	Z_1 pH	Z_2 °C	x_1	x_2			
1	11	75	+1	0	84	85,37	1,880
2	10	100	0	+1	95	94,79	0,044
3	9	75	–1	0	86,2	85,37	0,68
4	10	45	0	–1	76,5	77,25	0,57
5	11	100	+1	+1	92,3	92,33	0,0009
6	9	100	–1	+1	90,9	91,08	0,03
7	9	45	–1	–1	75,1	74,80	0,092
8	11	45	+1	–1	74,0	73,55	0,20
9	10	75	0	0	89,0	88,46	0,30
10	10	75	0	0	88,9	88,46	0,20
11	10	75	0	0	90,0	88,46	2,38
12	10	75	0	0	90,1	88,46	2,7

* Z_1 – водородный показатель (pH), Z_2 – температура, °C;
* Z_1 – hydrogen index (pH), Z_2 – temperature, °C.



(а) (б)

Рисунок 1. Графическая модель: (а) влияние температуры и pH католита на выход жира страуса; (б) области факторного пространства жироизвлечения по выходу продукта

Figure 1. Graphical model: (a) effect of temperature and pH of catholyte on ostrich fat yield; (b) area of the factor space of fat extraction according to yield

подтверждает гипотезу о получении наибольшего выхода жира при максимально установленных технологических параметрах. Вместе с тем цветовой тон, характерный для выхода от 90 % и выше, распространяется на значительной графической части рисунка. Это указывает на широкий диапазон варьирования температур и водородного показателя водной среды для положительного технического решения по выходу жира.

Для подбора оптимальных режимов вытапливания математическая модель (11) была представлена в виде линий Тора (рис. 1б). Анализ полученных результатов показал, что благоприятными зонами для получения жира с высокой производительностью по выходу можно считать интервалы в кодированных единицах для pH водной фазы католита –0,4–0,65 и температуры вытапливания 0,5–1,0.

Кислотное и перекисное числа – нормируемые показатели качества жиров – позволяют судить о степени протекающих в них изменений. Было рассчитано уравнение регрессии для кислотного (12) и перекисного (13) чисел жира страуса, вытопленного

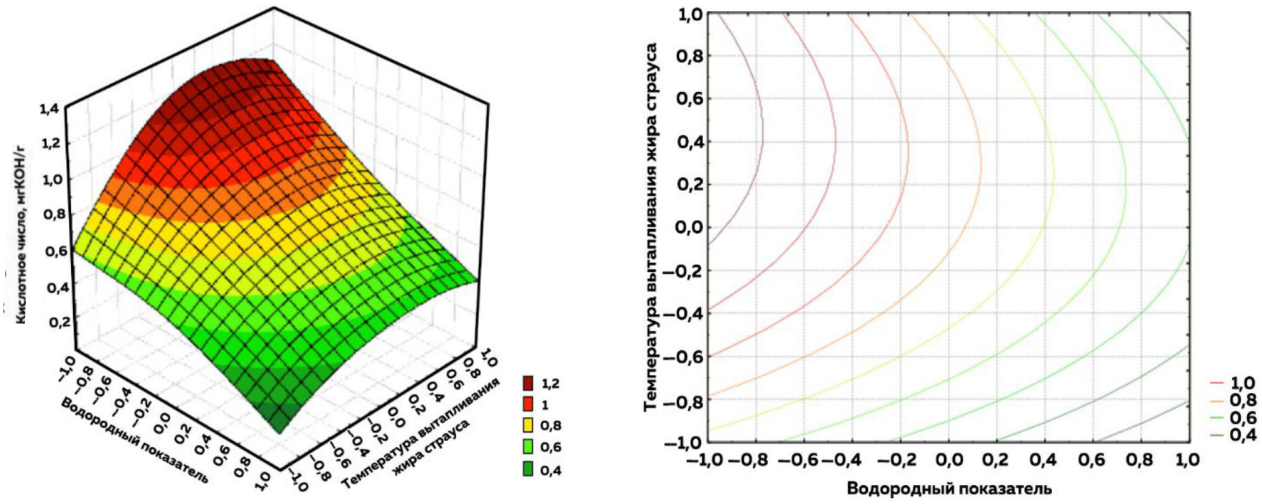
Таблица 3. Полный факторный эксперимент оптимизации условий вытапливания жира по величине кислотного числа

Table 3. Complete factorial experiment in improving the conditions of fat rendering according to acid value

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе*		Факторы в безразмерной системе координат		$y_{i\,экс}$, мгКОН/г	$\hat{y}_{расч}$, мгКОН/г	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
	Z_1, pH	Z_2, °C	X_1	X_2			
1	11	75	+1	0	0,45	0,51	0,004
2	10	100	0	+1	0,7	0,74	0,001
3	9	75	–1	0	1,2	1,1278	0,005
4	10	45	0	–1	0,5	0,44	0,004
5	11	100	+1	+1	0,4	0,43	0,0009
6	9	100	–1	+1	1,1	1,04	0,003
7	9	45	–1	–1	0,6	0,75	0,02
8	11	45	+1	–1	0,21	0,13	0,006
9	10	75	0	0	0,8	0,8211	0,0004
10	10	75	0	0	0,5	0,8211	0,10
11	10	75	0	0	0,55	0,8211	0,073
12	10	75	0	0	0,5	0,8211	0,10

* Z_1 – водородный показатель (pH), Z_2 – температура, °C;

* Z_1 – hydrogen index (pH), Z_2 – temperature, °C.



(а) (б)

Рисунок 2. Графическая модель: (а) влияние температуры и pH католита на кислотное число жира страуса; (б) области значений водородного показателя и температуры вытапливания жира страуса по показателю кислотного числа жира страуса

Figure 2. Graphical model: (a) effect of temperature and pH of catholyte on the acid value of ostrich fat; (b) range of the pH value and the ostrich fat melting temperature according to the acid value of the ostrich fat

при заданных параметрах в электроактивированной жидкости (католите).

План эксперимента второго порядка по показателю кислотного числа топленного жира страуса представлен в таблице 3.

$$\bar{y} = 0{,}8211 - 0{,}3067\chi_1 + 0{,}1483\chi_2 - 0{,}0067\chi_1^2 - - 0{,}0775\chi_1\chi_2 - 0{,}2317\chi_2^2 \quad (12)$$

$$\bar{y} = 0{,}8211 - 0{,}3067\chi_1 + 0{,}1483\chi_2 - 0{,}2317\chi_2^2 \quad (13)$$

Проверка полученного уравнения показала, что только четыре коэффициента значимы и они адекватны эксперименту: $S_{воспр}^2 = 0{,}022$; $S^2_{ост} = 0{,}0089$. Критерий Фишера равен 0,40; $F_{1-p} = (f_{49,12}, f_3) = 9{,}12$. Важно отметить разнонаправленное воздействие, которое оказывают pH электролита (католита) и температура вытапливания на кислотное число жира. Влияние технологических факторов хорошо заметно на рисунке 2.

Выявлено, что на показатель кислотного числа в процессе жироизвлечения существенно влияет pH электрохимически активированной среды. С

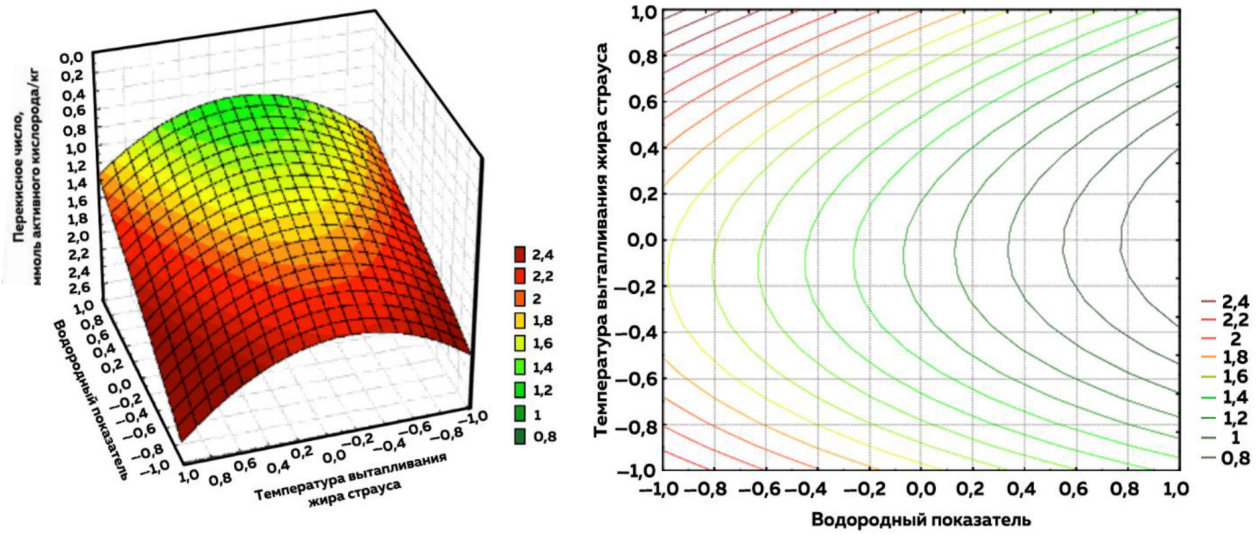
Таблица 4. Полный факторный эксперимент оптимизации условий вытапливания жира по величине перекисного числа

Table 4. Complete factorial experiment in improving the conditions of fat rendering according to peroxide value

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе*		Факторы в безразмерной системе координат		$y_{i\,экс}$, ммоль активного кислорода/кг	$\hat{y}_{расч}$, ммоль активного кислорода/кг	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
	Z_1 pH	Z_2 °C	X_1	X_2			
1	11	75	+1	0	0,81	0,7	0,01
2	10	100	0	+1	1,91	1,91	0,0
3	9	75	–1	0	1,68	1,72	0,002
4	10	45	0	–1	1,8	1,74	0,004
5	11	100	+1	+1	1,3	1,34	0,0016
6	9	100	–1	+1	2,6	2,56	0,0014
7	9	45	–1	–1	2,2	2,19	0,00004
8	11	75	+1	–1	1,3	1,37	0,0049
9	10	75	0	0	1,1	1,1667	0,0045
10	10	75	0	0	1,2	1,1667	0,001
11	10	75	0	0	1,1	1,1667	0,0045
12	10	75	0	0	1,2	1,1667	0,001

* Z_1 – водородный показатель (pH), Z_2 – температура, °C;

* Z_1 – hydrogen index (pH), Z_2 – temperature, °C.



(а) (б)

Рисунок 3. Графическая модель: (а) влияние температуры и pH католита на величину выхода жира страуса; (б) области значений водородного показателя и температуры вытапливания жира страуса по показателю перекисного числа жира страуса

Figure 3. Graphical model: (a) effect of temperature and pH of catholyte on the ostrich fat yield; (b) range of values of the hydrogen index and the ostrich fat melting temperature according to the peroxide value of ostrich fat

повышением водородного показателя водной фазы католита кислотное число жира снижается (рис. 2а). При заданных технологических параметрах оптимальных значений кислотного числа достичь не удалось (рис. 2б). Опираясь на графические данные, подбирали оптимальные зоны водородного показателя и температуры вытапливания для получения жира страуса с низким кислотным числом, которые составили 0,2–1,0 и от –1,0 до –0,7 в кодированных значениях.

Построение матрицы эксперимента по показателю перекисного числа осуществляли по аналогии с предыдущими опытами. Результаты представлены в таблице 4.

Расчетным путем с применением программного обеспечения Statistika 6,0 была получена зависимость перекисного числа от исследуемых факторов, которая имела следующий вид:

$$\bar{y} = 1{,}1667 - 0{,}5117\chi_1 + 0{,}085\chi_2 + 0{,}045\chi_1^2 - \\ - 0{,}1\chi_1\chi_2 + 0{,}655\chi_2^2 \quad (14)$$

В ходе проверки адекватности математической модели установлено, что все коэффициенты уравнения значимы ($S_{воспр}^2$ = 0,022; $S^2_{ост}$ = 0,0089) и выполняется условие $F < F_{1-p}$ (0,50 < 9,28) при уровне вероятности 0,05. Обращает на себя внимание выраженное обратное влияние водородного показателя католита, в отличие от температуры вытапливания, на перекисное число жира страуса. Вместе с тем значительное увеличение как pH водной фазы электрохимически активированной среды, так и теплового воздействия, приводит к увеличению перекисного числа.

На рисунке 3а хорошо видно интенсивное влияние температуры вытапливания на показатель перекисного числа жира. Очевиден инактивирующий

Таблица 5. Области факторного пространства для вытапливания жира страуса мокрым способом в присутствии электроактивированной жидкости

Table 5. Areas of factor space for ostrich fat wet rendering by using electrolyzed fluid

Функция отклика	Водородный показатель водной фазы католита		Температура вытапливания	
	Значения выбранных факторов			
	кодированные единицы	натуральные величины	кодированные единицы	натуральные величины, °С
Выход жира страуса (Y_1)	–0,4–0,65	9,6–10,65	0,8–1,0	87,5–100,0
Кислотное число жира страуса (Y_2)	0,6–1,0	10,6–11,0	от –1,0 до –0,8	45,0–60,0
Перекисное число жира страуса (Y_3)	0,8–1,0	10,8–11,0	от 0,4 до –0,4	60,0–87,5

механизм действия католита на ферментативные процессы, протекающие в сырье при его вытопке. Низкие показатели перекисного числа отмечены в верхней части плана и области, покрывающей центральную часть объемной трехмерной модели. Наилучшие условия для вытапливания жира по данному показателю (рис. 3б) находятся в интервалах кодированных единиц для pH католита (0,8–1,0) и температуры вытапливания от 0,4 до –0,4.

Для подбора технологических условий и параметров обработки жирового сырья в присутствии электроактивированной жидкости, обеспечивающих получение жирового продукта с высокими качественными и количественными характеристиками кодированные значения, были переведены в натуральные величины (табл. 5).

Выводы

Сопоставление полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что для решения поставленной технической задачи оптимальными для получения жира страуса с высоким выходом и низкими значениями кислотного и перекисного чисел можно считать области водородного показателя в интервале 10,5–11,0 и температурой вытапливания 60,0–100,0 °С. Режимы тепловой обработки могут варьироваться в зависимости от целевого назначения продукта: пищевое, косметическое, кормовое.

Благодаря направленному физико-химическому воздействию раствора электролита, способствующему разрушению сложной внутриклеточной коллоидной системы, в состав которой входит жир, удалось достигнуть высокой эффективности предлагаемой технологии без применения агрессивных сред и температур. Выбранные технологические параметры вытапливания легли в основу создания технологической линии переработки жира-сырца страуса (патент на изобретение № 2681419).

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследованиях и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors equally participated in the research and the design of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of the present article.

Список литературы

1. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-17042012-n-559-r/. – Дата обращения: 10.04.2019.

2. Лисицын, А. Б. Комплексное использование сырья в мясной отрасли АПК / А. Б. Лисицын, Н. Ф. Небурчилова, И. В. Петрунина // Пищевая промышленность. – 2016. – № 5. – С. 58–62.

3. Фролов, В. Ю. Повышение эффективности производства продукции страусоводства в условиях малых форм хозяйствования / В. Ю. Фролов, О. В. Сычёва, Н. Ю. Сарбатова // Эффективное животноводство. – 2015. – Т. 117, № 8. – С. 44–45.

4. Куликов, Л. В. Фермерское страусоводство: Практическое руководство для начинающих предпринимателей / Л. В. Куликов, Ш.-Г. К. Боков. – М. : Российский университет дружбы народов, 2004. – 257 с.

5. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. Том 5. Поголовье сельскохозяйственных животных. Книга 1. Поголовье сельскохозяйственных животных. Структура поголовья сельскохозяйственных животных. М. : ИИЦ «Статистика России», 2018. – 451 с.

6. Медведев, Д. А. Химические процессы, лежащие в основе порчи масложировой продукции / Д. А. Медведев, О. И. Лазовская, В. Н. Леонтьев // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2014. – Т. 168, № 4. – С. 231–236.

7. Пат. 2692057C1 Российская Федерация, МПК A61K8/04, A61Q 19/00. Косметический крем дневной / Горбачева М. В., Тарасов В. Е., Василевич Ф. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина». – № 2018144242; заявл. 13.12.2018; опубл. 20.06.2019; Бюл. № 17. – 8 с.

8. Пат. 2007103125A Российская Федерация, МПК A61K35/12. Масло эму и фруктовый состав / Плева Р. М.; – № 2007103125/15; заявл. 28.07.2005; опубл. 10.09.2008; Бюл. № 25. – 2 с.

9. Пат. 2287952C1 Российская Федерация, МПК A23L1/30 A23D9/00 A23L1/305. Биологически активная добавка к пище / Горлов И. Ф., Юрина О. С., Лупачева Н. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ГУ «Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясомолочного скотоводства и переработки продукции животноводства Россельхозакадемии». – № 2005122342/13; заявл. 14.07.2005; опубл. 27.11.2006; Бюл. № 33. – 5 с.

10. Eltom, S. E. M. Chemical studies on ostrich oil obtained from (*Struthio camellus*) / S. E. M. Eltom, A. G. Al-sehemi. – 2004. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1693.0648.

11. Basuny, A. M. M. Biological evaluation of ostrich oil and its using for production of biscuit / A. M. M. Basuny, S. M. Arafat, H. M. Soliman // Egyptian Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 60, № 6. – P. 1091–1099. DOI: https://doi.org/10.21608/ejchem.2017.1295.1078.

12. Basuny, A. M. M. Utilization of ostrich oil in foods / A. M. M. Basuny, S. M. Arafat, S. L. Nasef // International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics. – 2011. – Vol. 2, № 8. – P. 199–208.

13. Refining ostrich oil and its stabilization with curcumin / U. D. Palanisamy, M. Sivanathan, T. Subramaniam [et al.] // Journal of Nutritional Health & Food Engineering. – 2015. – Vol. 2, № 2. – P. 63–69. DOI: https://doi.org/10.15406/jnhfe.2015.02.00051.

14. Пат. 2683559C1 Российская Федерация, МПК C11B1/00 C11B1/12. Способ получения топленого жира страуса / Горбачева М. В., Тарасов В. Е., Сапожникова А. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина». – № 2017146651; заявл. 28.12.2017; опубл. 28.03.2019; Бюл. № 10. – 5 с.

15. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments / R. M. S. Thorn, S. W. H. Lee, G. M. Robinson [et al.] // European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. – 2012. – Vol. 31, № 5. – P. 641–653. DOI: https://doi.org/10.1007/s10096-011-1369-9.

16. Electro-activated aqueous solutions: Theory and application in the food industry and biotechnology / M. Aider, E. Gnatko, M. Benali [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2012. – Vol. 15. – P. 38–49. DOI https://doi.org/10.1016/j. ifset.2012.02.002.

17. Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry / R. Jiménez-Pichardo, C. Regalado, E. Castaño-Tostado [et al.] // Food Control. – 2016. – Vol. 60. – P. 320–328. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.011.

18. Contribution to the development of a method of maple sap soft drink stabilization by electro-activation technology / K. Koffi, S. Labrie, A. Genois [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 59, № 1. – P. 138–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.063.

19. Effect of electrochemically activated anolyte on the shelf life of cold stored rainbow trout / V. D. Kitanovski, D. B. Vlahova-Vangelova, S. G. Dragoev [et al.] // Food Science and Applied Biotechnology. – 2018. – Vol. 1, № 1. – P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.30721/fsab 2018.v1.i1.

20. Disintegration of bacterial film by electrochemically activated water solution / A. G. Pogorelov, O. A. Suvorov, A. L. Kuznetsov [et al.] // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2018. – Vol. 165, № 4. – P. 493–496. DOI: https://doi.org/10.1007/s10517-018-4202-y.

21. Pasko, O. A. Metabolism in *Amaranthus* L. seeds after their treatmen with electrochemically activated water / O. A. Pasko // Agricultural Biology. – 2013. – № 3. – P. 84–91. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.3.84eng.

22. Горбачева, М. В. Оптимизация условий и параметров получения электроактивированной жидкости для вытапливания жира страуса / М. В. Горбачева, В. Е. Тарасов, А. И. Сапожникова // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 8. – С. 88–96. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10823.

References

1. Strategiya razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda [Development strategy of the Food and Processing Industry of the Russian Federation for the period until 2020] [Internet]. [cited 2019 Apr 10]. Available from: https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-17042012-n-559-r/.

2. Lisitsyn AB, Neburchilova NF, Petrunina IV. Complex use of raw material in the meat sector of the agro-industrial complex. Food Industry. 2016;(5):58–62. (In Russ.).

3. Frolov VYu, Sychyova OV, Sarbatova NYu. Povyshenie ehffektivnosti proizvodstva produktsii strausovodstva v usloviyakh malykh form khozyaystvovaniya [Improving the efficiency of production of ostrich products in the conditions on small farms]. Ehffektivnoe zhivotnovodstvo [Effective Cattle Breeding]. 2015;117(8):44–45. (In Russ.).

4. Kulikov LV, Bokov Sh-GK. Fermerskoe strausovodstvo: Prakticheskoe rukovodstvo dlya nachinayushchikh predprinimateley [Farm Ostrich Production: Manual for Start-Up Entrepreneurs]. Moscow: RUDN University; 2004. 257 p. (In Russ.).

5. Itogi Vserossiyskoy sel′skokhozyaystvennoy perepisi 2016 goda. Tom 5. Pogolov′e sel′skokhozyaystvennykh zhivotnykh. Kniga 1. Pogolov′e sel′skokhozyaystvennykh zhivotnykh. Struktura pogolov′ya sel′skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Results of the 2016 All-Russian Agricultural Census. Vol. 5. Livestock of farm animals. Book 1. Livestock. The structure of livestock of farm animals]. Moscow: Information Center “Statistika Rossii”; 2018. 451 p. (In Russ.).

6. Medvedev DA, Lazovskaya OI, Leont′ev VN. Khimicheskie protsessy, lezhashchie v osnove porchi maslozhirovoy produktsii [Chemical processes behind the deterioration of oil and fat products].Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoehkologiya [Studies at Belgorod State Technological University. Series 2: Chemical technology, biotechnology, geo-ecology]. 2014;168(4):231–236. (In Russ.).

7. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Vasilevich FI, Sapozhnikova AI, Gordienko IM, Strepetova OA. Cosmetic day cream. Russia patent RU 2692057C1. 2019.

8. Pleva RM. Maslo ehmu i fruktovyy sostav [Emu oil and fruit composition]. Russia patent RU 2007103125A. 2005.

9. Gorlov IF, Jurina OS, Lupacheva NA, Semenova IA. Biologically active food additive. Russia patent RU 2287952C1. 2006.

10. Eltom SEM, Al-sehemi AG. Chemical studies on ostrich oil obtained from (*Struthio camellus*). 2004. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1693.0648.

11. Basuny AMM, Arafat SM, Soliman HM. Biological evaluation of ostrich oil and its using for production of biscuit. Egyptian Journal of Chemistry. 2017;60(6):1091–1099. DOI: https://doi.org/10.21608/ejchem.2017.1295.1078.

12. Basuny AMM, Arafat SM, Nasef SL. Utilization of ostrich oil in foods. International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics. 2011;2(8):199–208.

13. Palanisamy UD, Sivanathan M, Subramaniam T, Radhakrishnan AK, Haleagrahara N, Sundralingam U, et al. Refining ostrich oil and its stabilization with curcumin. Journal of Nutritional Health & Food Engineering. 2015;2(2):63–69. DOI: https://doi.org/10.15406/jnhfe.2015.02.00051.

14. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Sapozhnikova AI, Gordienko IM, Strepetova OA. Method of obtaining ostrich melted fat. Russia patent RU 2683559C1. 2019.

15. Thorn RMS, Lee SWH, Robinson GM, Greenman J, Reynolds DM. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. 2012;31(5):641–653. DOI: https://doi.org/10.1007/s10096-011-1369-9.

16. Aider M, Gnatko E, Benali M, Plutakhin G, Kastyuchik A. Electro-activated aqueous solutions: Theory and application in the food industry and biotechnology. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2012;15:38–49. DOI https://doi.org/10.1016/j. ifset.2012.02.002.

17. Jiménez-Pichardo R, Regalado C, Castaño-Tostado E, Meas-Vong Y, Santos-Cruz J, García-Almendárez BE. Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry. Food Control. 2016;60:320–328. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.011.

18. Koffi K, Labrie S, Genois A, Aït Aissa A, Aïder M. Contribution to the development of a method of maple sap soft drink stabilization by electro-activation technology. LWT – Food Science and Technology. 2014;59(1):138–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.063.

19. Kitanovski VD, Vlahova-Vangelova DB, Dragoev SG, Nikolov HN, Balev DK. Effect of electrochemically activated anolyte on the shelf life of cold stored rainbow trout. Food Science and Applied Biotechnology. 2018;1(1):1–10. DOI: https://doi.org/10.30721/fsab 2018.v1.i1.

20. Pogorelov AG, Suvorov OA, Kuznetsov AL, Panait AI, Pogorelova MA, Ipatova LG. Disintegration of bacterial film by electrochemically activated water solution. Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2018;165(4):493–496. DOI: https://doi.org/10.1007/s10517-018-4202-y.

21. Pasko OA. Metabolism in *Amaranthus* L. seeds after their treatmen with electrochemically activated water. Agricultural Biology. 2013;(3):84–91. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.3.84eng.

22. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Sapozhnikova AI. Optimization of conditions and parameters for obtaining electroactivated liquid for ostrich fat rendering. Achievements of Science and Technology of AIC. 2018;32(8):88–96. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10823.

Сведения об авторах

Горбачева Мария Владимировна
канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения им. С. А. Каспарьянца, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», 109472, Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23, тел.: +7 (495) 377-70-81, e-mail: gmv76@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-3654-4440

Тарасов Василий Евгеньевич
д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: +7 (861) 274-63-37, e-mail: tarasov@kubstu.ru

Information about the authors

Mariya V. Gorbacheva
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of S.A. Kasparyanz Commodity Science, Technology of Raw Materials and Products of Animal and Plant Origin, K.I. Skryabin Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, Akademika Skryabina Str., Moscow, 109472, Russia, phone: +7 (495) 377-70-81, e-mail: gmv76@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-3654-4440

Vasily E. Tarasov
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Fat Technology, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia, phone: +7 (861) 274-63-37, e-mail: tarasov@kubstu.ru

Калманович Светлана Александровна
д-р. техн. наук, профессор, заведующая кафедрой технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: +7 (861) 255-84-01, e-mail: kalmanovich@kubstu.ru
https://orcid.org/0000-0002-7440-3422

Сапожникова Алла Ионовна
д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения им. С. А. Каспарьянца, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», 109472, Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23, тел.: +7 (495) 377-70-81, e-mail: fibrilla@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5040-6998

Svetlana A. Kalmanovich
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Fat Technology, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia, phone: +7 (861) 255-84-01, e-mail: kalmanovich@kubstu.ru
https://orcid.org/0000-0002-7440-3422

Alla I. Sapozhnikova
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of S.A. Kasparyanz Commodity Science, Technology of Raw Materials and Products of Animal and Plant Origin, K.I. Skryabin Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, Akademika Skryabina Str., Moscow, 109472, Russia, phone: +7 (495) 377-70-81, e-mail: fibrilla@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5040-6998