2020 Т. 50 № 2 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-194-203
УДК 633.8:543.54
Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Определение токоферолов в соевой окаре методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

С. Н. Петрова*, И. А. Максимова

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., 7

**e-mail: psn903@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 04.02.2020
Дата принятия в печать: 29.05.2020

© С. Н. Петрова, И. А. Максимова, 2020

Аннотация.
Введение. Соевая окара, представляющая собой вторичный продукт после получения соевого молока, содержит комплекс ценных макро- и микронутриентов, в том числе жирорастворимых витаминов. В последнее время растет интерес к замене синтетических антиоксидантов на смесь натуральных форм токоферола. Поэтому использование сои и продуктов ее переработки, содержащих витамин Е, для пищевых, косметических и других целей является актуальным.
Объекты и методы исследования. В качестве анализируемого образца использовали соевый продукт, представляющий собой выжимки из соевых бобов. Содержание токоферолов в соевом продукте определено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием стандартов фирмы Sigma Aldrich и соответствующих калибровочных зависимостей. В работе использовали спектрофотометрический метод определения токоферолов в стандартных растворах с последующим хроматографическим разделением с помощью флуориметрического детектирования.
Результаты и их обсуждение. Для определения токоферолов в соевой окаре подготовка пробы проведена модифицированным способом, заключающимся в обработке соевого продукта гексаном, последующей выдержке отфильтрованного раствора при низкой температуре и разделении образовавшихся фаз центрифугированием. Одновременно идентифицированы все формы токоферолов, за исключением β- и γ-форм. Хроматографическое разделение пиков этих форм затруднено в силу того, что их структурные формулы сходны и различаются лишь расположением метильных групп: орто- и пара-положение. Предложено определять сумму β- и γ-форм. Это не отразилось на объективности анализа, т. к. содержание β-токоферола в соевых продуктах составляет не выше 5 %.
Выводы. Предложенный способ подготовки пробы позволяет максимально отделить жировую фракцию, что положительно отражается на результатах анализа, и определить не только количественное, но и качественное содержание токоферолов в продукте. При этом уменьшается риск сбоя в работе хроматографического оборудования. Способ является более экономичным по трудозатратам и расходу используемых реактивов. Полученные результаты соответствуют литературным данным по содержанию токоферолов в соевых продуктах. Содержание токоферолов в соевой окаре составило 109 мг%.

Ключевые слова. Соя, витамин Е, изомеры токоферола, антиоксидант, гексан, спектрофотометрический метод, флуориметрическое детектирование

Для цитирования: Петрова, С. Н. Определение токоферолов в соевой окаре методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / С. Н. Петрова, И. А. Максимова // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 194–203. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-194-203.

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

Tokopherols in Okara (Soy Pulp): Highly Efficient Liquid Chromatography

S.N. Petrova*, I.A. Maximova

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetievskiy Ave., Ivanovo, 153000, Russia

**e-mail: psn903@mail.ru*

Received: February 04, 2020
Accepted: May 29, 2020

© S.N. Petrova, I.A. Maximova, 2020

Abstract.
Introduction. Soy pulp, or okara, is a soy milk by-product. It contains a complex of valuable macro- and micronutrients, including

fat-soluble vitamins. Recently, there has been a growing interest in replacing synthetic antioxidants with a mix of natural tocopherols. Soy beans and their by-products contain vitamin E and therefore can be used in food production, cosmetic, etc.
Study objects and methods. The present research featured soy pulp. The content of tocopherols in the soy product was determined by high performance liquid chromatography using Sigma Aldrich standards and corresponding calibration dependencies. The research also involved spectrophotometry for determining tocopherols in standard solutions followed by chromatographic separation using fluorimetric detection.
Results and discussion. To determine tocopherols in the okara, the test samples were treated with hexane. The filtered solution was exposed to low temperatures, after which the phases formed by centrifugation were separated. The samples were tested for all forms of tocopherols with the exception of β- and γ-forms. The chromatographic separation of the peaks of these forms was difficult due to the fact that their structural formulas were similar and differed only in the arrangement of methyl groups, i.e. the ortho- and paraposition. As a result, it was decided to determine the sum of the β- and γ-forms, which did not affect the objectivity of the analysis, since, according to published data, the content of β-tocopherol in soy products stays within 5%.
Conclusion. The proposed method for sample preparation made it possible to improve the separation of the lipid fraction, which had a positive effect on the results of the analysis. The method also determined not only the quantitative, but also the qualitative content of tocopherols in the product. This reduced the risk of malfunctioning chromatographic equipment: the method proved more economical in terms of labor and reagent use. The obtained results corresponded to the existing scientific data on the content of tocopherols in soy products. The content of tocopherols in soy okara was 109 mg%.

Keywords. Soy, vitamin E, tocopherol isomers, antioxidant, hexane, spectrophotometric method, photometric detection, fluorimetric detection

For citation: Petrova SN, Maximova IA. Tokopherols in Okara (Soy Pulp): Highly Efficient Liquid Chromatography. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(2):194–203. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-194-203.

Введение

В последние годы как у нас в стране, так и за рубежом, активно ведутся научные исследования по улучшению пищевой ценности продуктов пищевого и кормового назначения. Одним из решений в этом направлении является возможность использования новых источников натуральных компонентов, содержащих ценные макро- и микронутриенты, а также биологически активные соединения. Особый интерес представляют соя и продукты ее переработки, использующиеся в различных отраслях экономики [1]. Сою выращивают в основных земледельческих регионах 90 стран. Мировое производство ее достигает 300 млн. тонн. Успешное продвижение обусловлено как ее огромными возможностями в пищевой индустрии, так и агрономическими и даже экологическими, по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами. Согласно принятой Целевой отраслевой программе «Развитие производства и переработки сои в Российской Федерации на период 2014–2020 гг.» в последние годы существенно расширились посевные площади под соей в России. Главным регионом производства сои в нашей стране является Дальний Восток, где сконцентрировано 70 % ее посевов. Существенно расширяются посевные площади и в Центральном регионе России. Так, если в 2000 г. объемы производства сои составляли 340 тыс тонн, то уже в 2010 г. достигли 1 млн. тонн, а в 2018 г. превысили 3,6 млн. тонн. Российская соя ценится как внутри страны, так и на мировом рынке, т. к. она выращивается из семян, не являющихся генетически модифицированными [2].

Известны две основные технологии переработки соевых семян. В первой получают соевое масло и шрот, который затем перерабатывают в изоляты, концентраты, текстураты и другие продукты. При второй соевые бобы подвергают измельчению и водной обработке с получением соевого молока и окары. При растущем спросе на соевые продукты молочного типа актуальной является проблема использования побочного продукта ее переработки – окары, которая содержит комплекс ценных пищевых компонентов [3–6]. Состав соевой окары может меняться в зависимости как от исходного состава соевых семян, так и от способа их переработки. Она содержит (% на сухое вещество): белок – 18–24, жиры – 10–13, углеводы – 13–39, клетчатку – 17–25, витамины и минералы, среди которых преобладают калий, фосфор, кальций, магний, железо – 1046, 396, 260, 163 и 6,2 мг% (мг на 100 г) соответственно [7]. Соевый белок окары обладает высокой влагоудерживающей способностью, хорошей жиросвязывающей способностью и высокими эмульсионными свойствами. Содержит в своем составе 16 аминокислот, в том числе все незаменимые, и отличается высокой степенью усвояемости. Соевая окара представляет собой влажную массу без выраженного особого вкуса и запаха из-за чего находит широкое применение в производстве как пищевых продуктов, так и кормов для животных. При частичном замещении пшеничной муки на соевую окару предлагают производить хлебобулочные и мучные кондитерские изделия функционального назначения с улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями [8–12]. При включении продуктов переработки сои в состав мучных изделий повышается содержание белка и токоферолов [13]. Применение окары в производстве макаронных изделий позволило получить продукт

повышенной пищевой ценности за счет улучшения аминокислотного состава белкового нутриента и повышения содержания клетчатки [14, 15]. Подтверждена возможность использования окары в композиционных рецептурах мясных изделий лечебно-профилактической направленности с высокими функционально-технологическими характеристиками в отношении кишечной микрофлоры, а также образования стабильных эмульсий и гелей [7, 16]. Введение окары в рацион животных оптимизирует белковый обмен и повышает иммунную резистентность их организмов [17–19].

Поскольку окара – это побочный продукт водной обработки сои, то жирорастворимые витамины, как и гидрофобные соединения, остаются в ней. Соя богата токоферолами природного происхождения [20, 21]. Они обладают антиоксидантной активностью и более физиологичны для ферментной системы живых организмов, по сравнению с синтетическими антиокислителями, что позволяет при включении ее в состав других продуктов уменьшить дозировку синтетических антиоксидантов (бутилгидрокситолуол, бутилгидроксианизол, пропиллгаллат и трет-бутилгидрохинон), безопасность которых ставится под сомнение современными исследованиями [22–24]. В связи с этим изучение витаминного состава соевой окары, а именно содержания токоферолов, является актуальным. Антиоксидантная способность соевой окары исследовалась в [25, 26].

Литературные данные по содержанию токоферолов в семенах сои отличаются. Это обусловлено генетическими особенностями ее сортов, агроклиматическими условиями выращивания, технологическими условиями переработки сырья, а также методами определения витамина [27, 28]. Для определения токоферолов используется метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Его высокая чувствительность и точность дают возможность получить надежные результаты. Этот метод позволяет проводить одновременное определение всех форм токоферолов [29–31]. Однако не всегда удается добиться полного разрешения пиков, соответствующих разным изомерам [32]. Для проведения ВЭЖХ-анализа рекомендовано вести пробоподготовку методом прямой экстракции с использованием неполярных растворителей для маслосодержащих объектов с небольшим содержанием влаги. Для прочих продуктов – с проведением предварительного щелочного высокотемпературного омыления образца и его неоднократного перерастворения. Последний вариант трудоемкий и занимает 90 % затраченного времени на анализ, а также не исключает возможности разрушения токоферолов природного происхождения и их потерю [33–35].

Целью настоящей работы являлось определение токоферолов в соевой окаре и подбор условий анализа методом ВЭЖХ: опробирование модифицированного варианта подготовки пробы и подбор элюирующей системы с целью лучшего разделения изомеров токоферолов.

Объекты и методы исследования

В работе использовали спектрофотометр Nano Drop 2000, жидкостной хроматограф GalaxyVarian 920 LC с фотометрическим и флуориметрическим детекторами, хроматографическую колонку Chromsep HPLC Column HPLC (5 μм, 4,6×250 мм) или аналогичную ей Agilent Zorbax RX-SIL (5 μм, 4,6×250 мм).

В работе использовали стандарты токоферолов фирмы Sigma Aldrich. Из-за чувствительности токоферолов к УФ-излучению все операции выполняли в местах, защищенных от сильного естественного и люминесцентного освещения. Концентрацию стандартных растворов токоферолов определяли спектрофотометрически. Условия фотометрических измерений представлены в таблице 1. Расчет концентрации растворов вели по удельному и по молярному коэффициентам поглощения (табл. 2). Убедившись в эквивалентности двух способов спектрофотометрического определения концентрации токоферолов в растворе, использовали средние значения концентраций стандартных растворов. Из растворов стандартов был приготовлен ряд градуированных растворов токоферолов для построения калибровочных зависимостей в

Таблица 1. Условия фотометрических измерений[1]

Table 1. Conditions for photometric measurements[1]

Токоферолы	Молярная масса, г/моль	Длина волны, нм	Удельный коэффициент поглощения $\varepsilon^{1\%}_{1см}$ (этанол)	Молярный коэффициент поглощения, ε (гексан)
α-	430,71	292	76	3265
β-	416,69	296	89	3725
γ-	416,69	298	91	3809
δ-	402,66	298	87	3515

[1] ГОСТ EN 12822-2014. Продукты пищевые. Определение содержания витамина Е (α-, β-, γ- и δ-токоферолов) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М. : Стандартинформ, 2015. – 25 с.

Таблица 2. Концентрации растворов изомеров токоферолов

Table 2. Concentrations of solutions of tocopherol isomers

Токоферолы	Концентрация расчетная, мкг/мл	Определяемая концентрация		Среднее значение концентрации, мкг/мл
		по удельному поглощению, мкг/мл	по молярному поглощению, мкг/мл	
α-	100	104,48	104,48	104,48
β-		100,22	100,01	100,12
γ-		100,66	100,43	100,55
δ-		99,77	99,66	99,72

Таблица 3. Программа элюирования

Table 3. Elution program

Время, мин	Скорость потока, мл/мин	Буфер А, %	Буфер В, %	Буфер С, %
0,0	0,500	60	2	38
10,0	0,500	60	2	38
10,3	0,500	0	80	20
10,7	0,500	0	80	20
11,0	0,500	60	2	38
25,0	0,500	60	2	38

условиях фотометрического и флуориметрического детектирования, используемых для количественного определения форм токоферола в анализируемой пробе.

Для хроматографических измерений выбрана следующая буферная система: Буфер А:Гексан; Буфер В:Метанол; Буфер С:Гексан:1-Хлорбутан (6:4). Данная система позволяет лучшее разделить изомеры токоферолов при данном способе элюирования (табл. 3).

В качестве объекта исследования использовали соевую окару. Пробоподготовку осуществляли методом прямой экстракции в неполярном растворителе и низкотемпературной обработке, позволяющей отделить водорастворимые соединения, попавшие в гексановый раствор, и другие вещества, с температурой застывания выше –70 °С.

К 0,5 г анализируемой пробы добавляли 50 мл гексана. Перемешивали с использованием мультиротатора Biosan Multi Bio RS-24. Отфильтрованный гексановый раствор поместили в низкотемпературный морозильник на 2–4 ч при температуре –70 °С. После выдержки отбирали 1 мл гексанового раствора и центрифугировали его 10 мин (11 000 об/мин при температуре +3 °С). Для анализа использовали верхнюю гексановую фракцию. Массовую долю изомеров токоферолов рассчитывали по формуле:

$$X = (C_{ср} \cdot V)/m \quad (1)$$

где X – массовая доля токоферолов (мг/кг);

$C_{ср}$ – среднеарифметическое значение результатов измерений площади пика анализируемого компонента для трех параллельных хроматографических анализов испытуемого раствора (мкг/мл);

V – объем разведения (мл);

m – масса анализируемой пробы (г).

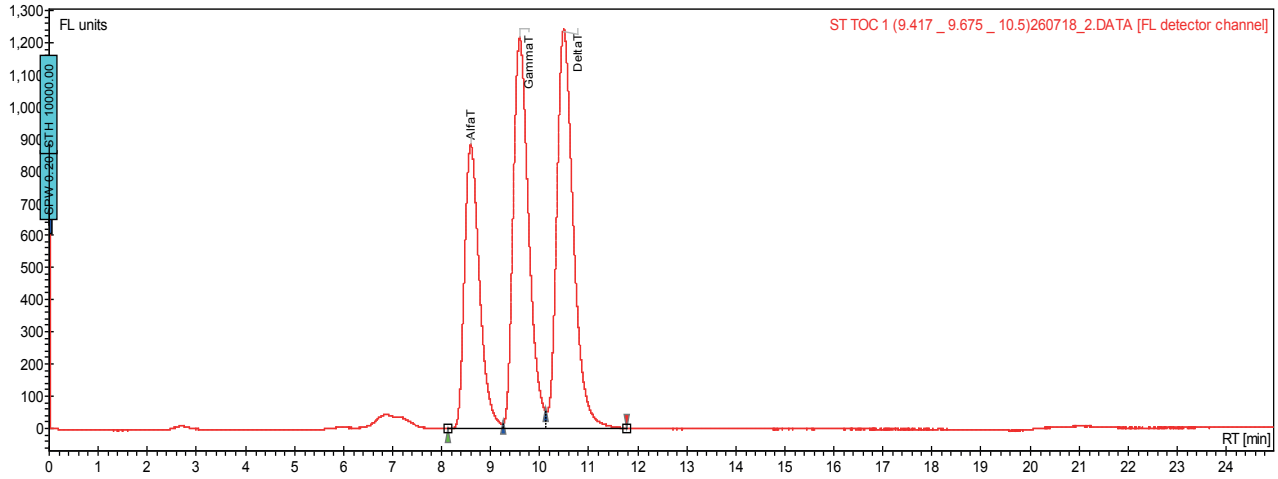

Рисунок 1. Хроматограмма стандартов токоферолов (флуориметрический детектор). По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, мВ

Figure 1. Chromatogram of tocopherol standards (fluorimetric detector). X-axis – retention time, min; Y-axis – detector signal, mV

Таблица 4. Экспериментальные данные для стандартов токоферолов

Table 4. Experimental data for tocopherol standards

Формы токоферолов	Время удержания Rt, мин	Уравнения калибровочных графиков
α-	8,40–8,60	y = 34,39x (R^2 = 0,9987)
β- + γ-	9,40–9,60	y = 41,25x (R^2 = 0,9996)
δ-	10,30–10,50	y = 49,11x (R^2 = 0,9996)

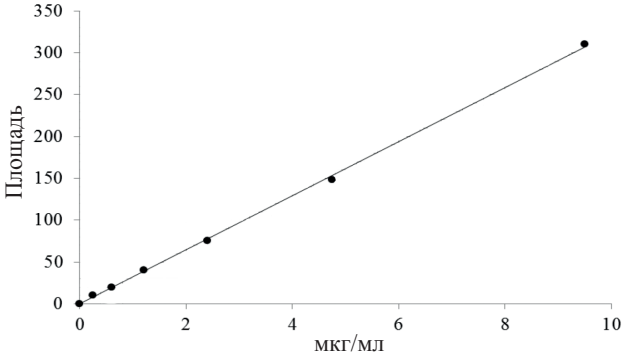

Рисунок 2. Калибровочный график для α-токоферола. По оси абсцисс – концентрация, мкг/мл, по оси ординат – площадь пиков

Figure 2. Calibration graph for α-tocopherol. X-axis – the concentration, μg/mL; Y-axis – the peak area

Результаты и их обсуждение

Первоначально исследовали растворы стандартов (рис. 1) изомеров токоферола в гексане (регистрировали не менее 5 хроматограмм каждого раствора). Время выхода изомеров β- и γ-форм в данных условиях хроматографического анализа совпадало. Изменение условий элюирования не позволило провести их разделение. Поскольку известно, что β-форма содержится в сое в количестве до 5 % от суммы токоферолов, то было решено вести расчет суммарного количества β- и γ-форм в образце [28, 29]. Время удержания (Rt, мин) стандартов токоферолов представлено в таблице 4. Из полученных значений площадей хроматографических пиков находили среднее арифметическое (использовали значения, расхождение между которыми не превышало 10 %) и строили калибровочные зависимости площади пика от концентрации компонента. Данный график для α-токоферола представлен на рисунке 2. Для других форм изомеров токоферола калибровочные зависимости идентичны. Уравнения этих графиков представлены в таблице 4.

В соевой окаре витамин Е находится в неэтерифицированной форме и пробоподготовка с использованием высокотемпературного щелочного омыления и последующего неоднократного перерастворения пробы может привести к его частичному разрушению и потерям. Поскольку температура замерзания гексана составляет –95 °С, а температуры застывания большинства триглицеридов – до –20 °С, то ожидали, что после выдержки гексанового раствора пробы соевого продукта на холоде (при –70 °С) омыляемая фракция липидной составляющей будет находиться в кристаллическом состоянии. При проведении подготовки пробы соевого образца для анализа выдерживанием измельченного материала в гексане с последующей фильтрацией и низкотемпературной выдержкой наблюдали четкое разделение фаз, образование дискретной жировой фазы. Отбирали верхнюю часть гексанового раствора и отделяли образовавшиеся кристаллы центрифугированием. Для хроматографического анализа использовали прозрачную фракцию.

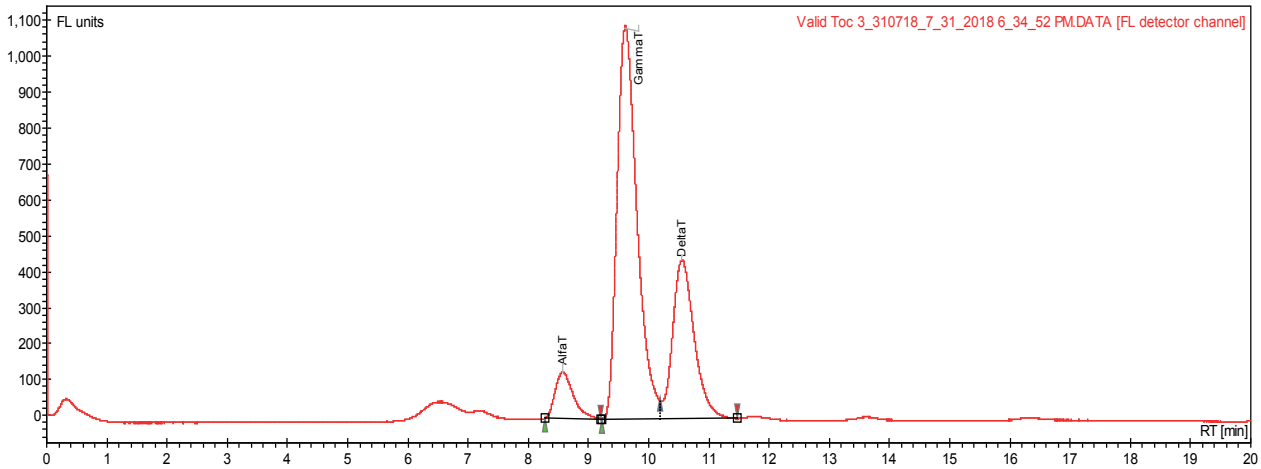

Рисунок 3. Хроматограмма образца соевого продукта (флуориметрический детектор). По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, мВ

Figure 3. Chromatogram of a soy product sample (fluorimetric detector). X-axis – retention time, min; Y-axis – detector signal, mV

Таблица 5. Содержание токоферолов в образце соевого продукта

Table 5. Tocopherol content in the soy sample

Формы токоферола	Экспериментальные данные		Литературные данные [28, 36]	
	Количество, мг/кг	Процентное соотношение, %	Количество, мг/ кг	Процентное соотношение, %
α-	131,1 ± 20	12	75–1000	10,0–13,6
β- + γ-	699,1 ± 59	64	β: 0–60 γ: 600–1400	β: 0–1,8 γ: 62–67 γ: 62–67
δ-	262,2 ± 21	24	200–500	19,5–24
Сумма	1092,4 ± 100	100	750–3050	100

Предварительно подобные обработки проводили и с гексановыми растворами стандартов токоферолов. При этом образование кристаллов не наблюдали. Убедились в том, что описанные манипуляции не оказывают влияния на время выхода, высоту и площадь пиков токоферолов.

На рисунке 3 представлена экспериментальная хроматограмма образца соевой окары. Наблюдаемые пики соответствуют пикам стандартов. Время выхода пиков совпадает со временем удержания стандартных растворов. Это позволяет сделать вывод о качественном составе токоферолов анализируемого образца.

Согласно калибровочным зависимостям определено количественное содержание и процентное соотношение токоферолов в образце (табл. 5). Полученные значения совпадают с литературными данными [28, 36]. В соевой окаре содержание токоферолов составило 109 мг%, что говорит о ее антиоксидантных свойствах. Использование окары в производстве различных продуктов позволит снизить долю синтетических антиоксидантов.

Предлагаемый способ пробоподготовки позволил определить все формы токоферолов в соевом продукте. Он является более экономичным по трудозатратам и расходу используемых реактивов. Исключается проведение высокотемпературного щелочного гидролиза образца, экстрагирование токоферолов гексаном из полученного щелочного раствора, промывка последнего до нейтральной реакции и осушение его безводным сульфатом натрия. При этом уменьшается риск выхода из рабочего состояния хроматографического оборудования за счет того, что низкотемпературная выдержка позволяет отделить от гексанового раствора токоферолов омыляемые фракции липидов и другие, загрязняющие колонки, примеси.

Выводы

В настоящей работе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определено содержание токоферолов в соевой окаре, представляющей собой вторичный продукт получения соевого молока. Предложен и опробирован модифицированный способ пробоподготовки растительного объекта, заключающийся в обработке измельченного биоматериала гексаном с последующей низкотемпературной выдержкой отфильтрованного гексанового раствора и центрифугировании. Предлагаемая подготовка образца позволила провести качественное и количественное определение изомеров токоферолов в природном материале, содержащем неэтерифицированные формы витамина Е. Также подготовка является менее трудоемкой и экономически выгодной с точки зрения расходования химических реактивов. Уменьшается риск сбоя в работе хроматографического оборудования, поскольку низкотемпературная выдержка позволяет отделить от гексанового раствора токоферолов омыляемые фракции липидов и другие, загрязняющие колонки, примеси. Выбор буферной системы позволил получить хорошее разделение изомеров токоферолов.

Благодаря наличию токоферолов в соевой окаре использование ее как в пищевых, так и в других целях, позволит, кроме обогащения другими полезными нутриентами, увеличить содержание витамина Е, проявляющего антиоксидантые свойства, и снизить долю синтетических антиоксидантов.

Критерии авторства

Все авторы внесли равнозначный вклад в концепцию представленного исследования, в получение и анализ данных, а также их интерпретацию.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность руководству исследовательской лаборатории ООО «ИЛ Тест-Пущино» в лице генерального директора В. М. Возняка, а также Л. М. Винокурову и Б. З. Елецкой за оказанную помощь при проведении исследования и обработку полученных результатов.

Contribution

All authors made an equal contribution to the concept of the presented study; as well as in obtaining, analyzing and interpreting the data.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to the management of the research laboratory of LLC IL Test-Pushchino: the general director V.M. Voznyak, L.M. Vinokurov, and B.Z. Yelets for the assistance provided during the study and the processing of the results.

Список литературы

1. Линников, П. И. Российский рынок сои: тенденции, перспективы развития / П. И. Линников // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 81–86. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.v0i10.595.

2. Дорохов, А. С. Производство сои в Российской Федерации: основные тенденции и перспективы развития / А. С. Дорохов, М. Е. Белышкина, К. К. Большева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – Т. 47, № 3. – С. 25–33. DOI: https://doi.org/10.18286/1816–4501–2019-3–25–33.

3. Стаценко, Е. М. Оценка технологических свойств зерна сои сортов селекции всероссийскогоо НИИ сои и продуктов его переработки для определения их пригодности к использованию в пищевом производстве / Е. С. Стаценко, О. В. Литвиненко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 31–40. DOI: https://doi.org/10.14529/food190304.

4. Effects of pretreatments on the structure and functional properties of okara protein / X. Tao, Y. J. Cai, T. X. Liu [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2019. – Vol. 90. – P. 394–402. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.028.

5. Soybean residue (okara) fermentation with the yeast *Kluyveromyces marxianus* / Y. Hu, C. H. Piao, Y. Chen [et al.] // Food Bioscience. – 2019. – Vol. 31. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100439.

6. Vong, W. C. Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition / W. C. Vong, S. Q. Liu // Trends in Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 52. – P. 139–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.011.

7. Садовой, В. В. Соевая пищевая окара в композиционных рецептурах мясных изделий / В. В. Садовой, В. А. Самылина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2005. – Т. 284, № 1. – С. 46–48.

8. Бегеулов, М. Ш. Использование соевой окары в хлебопечении / М. Ш. Бегеулов // Хлебопродукты. – 2010. – № 7. – С. 40–42.

9. Федорова, Р. А. Исследование влияния окары на качество хлеба / Р. А. Федорова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С. 46–51.

10. Кодирова, Г. А. Вторичное соевое сырье как компонент в производстве мучных кондитерских изделий / Г. А. Кодирова, Г. В. Кубанкова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 141, № 6. – С. 182–186.

11. Гусева, Т. И. Обогащение сдобного печенья соевой окарой / Т. И. Гусева, Т. И. Гулова // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития – Материалы XVII Всероссийской заочной научно-практической конференции / Уральский государственный экономический университет. – Екатеринбург, 2016. – С. 116–121.

12. Park, J. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value / J. Park, I. Choi, Y. Kim // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 63, № 1. – P. 660–666. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.110.

13. Обоснование технологических подходов к получению и использованию зародышевой фракции семян сои в пищевых продуктах спецназначения / С. М. Доценко, И. В. Бибик, Д. В. Купчак [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38, № 3. – С. 76–83.

14. Безотходная переработка сои: использование соевой окары в макаронном производстве / Г. А. Осипова, Л. А. Самофалова, Н. А. Березина [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – Т. 29, № 1. – С. 56–62. DOI: https://doi.org/10.24411/2309–348X–2019–11073.

15. Kang, M. J. Rice noodle enriched with okara: Cooking property, texture, and *in vitro* starch digestibility / M. J. Kang, I. Y. Bae, H. G. Lee // Food Bioscience. – 2018. – Vol. 22. – P. 178–183. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.008.

16. Сарбатова, Н. Ю. Соевая окара в рецептурах мясных и мясосодержащих изделий / Н. Ю. Сарбатова, Н. В. Потрясов // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции – Сборник статей по материалам II научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар, 2016. – С. 157–160.

17. Дежаткина, С. В. Морфологический состав крови свиней при добавлении в рацион соевой окары / С. В. Дежаткина, З. М. Губейдуллина, А. З. Мухитов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2014. – Т. 217, № 1. – С. 65–70.

18. Дежаткина, С. В. Показатели кальций-фосфорного обмена в тканях свиней при скармливании соевой окары / С. В. Дежаткина, Н. А. Любин, М. Е. Дежаткин // Вестник Ульяновской государственной скльскохозяйственной академии. – 2017. – Т. 38, № 2. – С. 76–79. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2017-2-76-79.

19. Воротникова, И. А. Показатели обмена веществ у индеек на фоне скармливания модифицированного цеолита и соевой окары / И. А. Воротникова, С. В. Дежаткина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – Т. 48, № 4. – С. 161–164. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-4-161-164.

20. Parrish, D. B. Determination of vitamin E in foods – a review / D. B. Parrish, A. E. Waltking // CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 1980. – Vol. 13, № 2. – P. 161–187. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398009527288.

21. Хайрулина, Т. П. Действие температурного и водного стрессоров на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои / Т. П. Хайрулина, Е. А. Семенова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 77, № 2. – С. 22–26.

22. Taghvaei, M. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives / M. Taghvaei, S. M. Jafari // Journal of Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 52, № 3. – P. 1272–1282. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-013-1080-1.

23. Сизова, Н. В. Определение токоферолов как липидных антиоксидантов в растительных маслах и животных жирах / Н. В. Сизова // Химия растительного сырья. – 2013. – № 1. – С. 157–163. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.1301157.

24. Antioxidant properties, profile of polyphenolic compounds and tocopherol content in various walnut (*Juglans regia* L.) varieties / K. Pycia, I. Kapusta, G. Jaworska [et al.] // European Food Research and Technology. – 2018. – Vol. 245, № 3. – P. 607–616. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-018-3184-3.

25. Impact of thermal treatment and hydrolysis by Alcalase and *Cynara cardunculus* enzymes on the functional and nutritional value of Okara / G. B. Voss, H. Osorio, M. P. Valente [et al.] // Process Biochemistry. – 2019. – Vol. 83. – P. 137–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.010.

26. Improvement of the antioxidant activity of Chinese traditional fermented okara (Meitauza) using *Bacillus subtilis* B2 / Y. P. Zhu, J. F. Fan, Y. Q. Cheng [et al.] // Food Control. – 2008. – Vol. 19, № 7. – P. 654–661. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.009.

27. Изменчивость содержания различных форм токоферолов в семенах сои / С. С. Рябуха, С. М. Тымчук, В. В. Поздняков [и др.] // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2011. – Т. 148–149, № 2. – С. 81–85.

28. Токоферолы семян сои / Л. А. Кучеренко, С. Г. Ефименко, В. С. Петибская [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2008. – Т. 303–304, № 2–3. – С. 24–26.

29. Прохватилова, С. С. Определение витамина Е в фармацевтических препаратах методом ВЭЖХ / С. С. Прохватилова // Фармация. – 1998. – № 3. – С. 41–44.

30. Кищенко, В. А. Определение токоферолов в маслах и маслосодержащих продуктах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / В. А. Кищенко, И. В. Левчук, С. Г. Ефименко // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2007. – Т. 137, № 2. – С. 35–38.

31. Tsochatzis, E. D. Validated RP-HPLC method for simultaneous determination of tocopherols and tocotrienols in whole grain barley using matrix solid-phase dispersion / E. D. Tsochatzis, R. Tzimou-Tsitouridou // Food Analytical Methods. – 2014. – Vol. 8, № 2. – P. 392–400. DOI: https://doi.org/10.1007/s12161-014-9904-9.

32. Yang, F. Post-synthetic modification of MIL-101(Cr) with pyridine for high-performance liquid chromatographic separation of tocopherols / F. Yang, C. X. Yang, X. P. Yan // Talanta. – 2015. – Vol. 137. – P. 136–142. DOI: https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.01.022.

33. Журавлева, Л. Н. Связь между изомерным составом токоферолов и длительностью фритюрного жарения масел / Л. Н. Журавлева // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции – Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов / Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий Российской академии сельскохозяйственных наук. – Краснодар, 2014. – С. 147–149.

34. Ещенко, А. Ю. Определение токоферолов и токотриенолов в растительных маслах и некоторые особенности их состава / А. Ю. Ещенко, И. Г. Зенкевич // Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и химия. – 2006. – № 4. – С. 68–75.

35. Изменение содержания витаминов при производстве и хранении мучных кондитерских изделий / М. В. Осипов, О. С. Руденко, Ф. И. Парашина [и др.] // Пищевая промышленность. – 2018. – № 12. – С. 46–49.

36. Скурихин, И. М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – М. : ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

References

1. Linnikov PI. Russian soybean market: trends, development prospects. The Agrarian Scientific Journal. 2018;(10):81–86. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.v0i10.595.

2. Dorokhov AS, Belyshkina ME, Bolsheva KK. Soy production in the Russian Federation: basic trends and development prospects. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019;47(3):25–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816–4501–2019-3–25–33.

3. Statsenko ES, Litvinenko OV. Assessment of technological properties of soybean grain of the FSBSI ARSRI of soybean and its processing products to determine their suitability for use in food production. Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2019;7(3):31–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14529/food190304.

4. Tao X, Cai YJ, Liu TX, Long Z, Huang LH, Deng XL, et al. Effects of pretreatments on the structure and functional properties of okara protein. Food Hydrocolloids. 2019;90:394–402. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.028.

5. Hu Y, Piao CH, Chen Y, Zhou YN, Wang D, Yu HS, et al. Soybean residue (okara) fermentation with the yeast *Kluyveromyces marxianus*. Food Bioscience. 2019;31. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100439.

6. Vong WC, Liu SQ. Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition. Trends in Food Science and Technology. 2016;52:139–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.011.

7. Sadovoy VV, Samylina VA. Soevaya pishchevaya okara v kompozitsionnykh retsepturakh myasnykh izdeliy [Soy okara in compositional formulations of meat products]. News institutes of higher Education. Food technology. 2005;284(1):46–48. (In Russ.).

8. Begeulov M. Using soybean okara in bread. Bread products. 2010;(7):40–42. (In Russ.).

9. Fedorova RA. Investigation of the effect on the okara of quality bread. Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2016;(42):46–51. (In Russ.).

10. Kodirova GA, Kubankova GV. Secondary soy raw material as a component in the production of flour confectionery. Bulletin of KSAU. 2018;141(6):182–186. (In Russ.).

11. Guseva TI, Gulova TI. Obogashchenie sdobnogo pechen′ya soevoy okaroy [Fortification of butter cookies with soy okara]. Sovremennoe khlebopekarnoe proizvodstvo: perspektivy razvitiya – Materialy XVII Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Modern bakery production: development prospects – Proceedings of the XVII All-Russian Correspondence Scientific and Practical Conference]; 2016; Yekaterinburg. Yekaterinburg: Urals State University of Economics; 2016. p. 116–121. (In Russ.).

12. Park J, Choi I, Kim Y. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value. LWT – Food Science and Technology. 2015;63(1):660–666. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.110.

13. Dotsenko SM, Bibik IV, Kupchak DV, Obukhov EB, Gryzlov VM, Agafonov IV. Technological approach to obtaining and using soybean seed germ fraction in specific foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2015;38(3):76–83. (In Russ.).

14. Osipova GA, Samofalova LA, Berezina NA, Seregina TV. Wasteless processing of soy: use soya okara in macaroni manufacture. Legumes and Groat Crops. 2019;29(1):56–62. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2309–348X–2019–11073.

15. Kang MJ, Bae IY, Lee HG. Rice noodle enriched with okara: Cooking property, texture, and in vitro starch digestibility. Food Bioscience. 2018;22:178–183. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.008.

16. Sarbatova NYu, Potryasov NV. Soevaya okara v retsepturakh myasnykh i myasosoderzhashchikh izdeliy [Soy okara in the formulations of meat and meat-containing products]. Sovremennye aspekty proizvodstva i pererabotki sel′skokhozyaystvennoy produktsii – Sbornik statey po materialam II nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Modern aspects of production and processing of agricultural products – Proceedings of the II scientific-practical conference of students, graduate students, and young scientists]; 2016; Krasnodar. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2016. p. 157–160. (In Russ.).

17. Dezhatkina SV, Gubeidullina ZM, Muhytov AZ. Morphological composition of blood pigs when you add in the diet of soy okara. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2014;217(1):65–70. (In Russ.).

18. Dezhatkina SV, Lyubin NA, Dezhatkin ME. Parametres of calcium – phosphorus tissue metabolism of pigs, when feeding them with soy okara. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017;38(2):76–79. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2017-2-76-79.

19. Vorotnikova IA, Dezhatkina SV. Turkey metabolism parametres in case of feeding them with modified zeolite and soy okara. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019;48(4):161–164. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816–4501–2019–4–161–164.

20. Parrish DB, Waltking AE. Determination of vitamin E in foods – a review. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1980;13(2):161–187. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398009527288.

21. Hayrulina TP, Semenova EA. The temperature and water stressors impact on the low-molecular antioxidant content in soya seeds. Bulletin of KSAU. 2013;77(2):22–26. (In Russ.).

22. Taghvaei M, Jafari SM. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. Journal of Food Science and Technology. 2013;52(3):1272–1282. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-013-1080-1.

23. Sizova NV. The vitamin E content in edible and pharmaceutical oils. Chemistry of plant raw material. 2013;(1):157–163. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.1301157.

24. Pycia K, Kapusta I, Jaworska G, Jankowska A. Antioxidant properties, profile of polyphenolic compounds and tocopherol content in various walnut (*Juglans regia* L.) varieties. European Food Research and Technology. 2018;245(3):607–616. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-018-3184-3.

25. Voss GB, Osorio H, Valente MP, Pintado ME. Impact of thermal treatment and hydrolysis by Alcalase and *Cynara cardunculus* enzymes on the functional and nutritional value of Okara. Process Biochemistry. 2019;83:137–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.010.

26. Zhu YP, Fan JF, Cheng YQ, Li LT. Improvement of the antioxidant activity of Chinese traditional fermented okara (Meitauza) using *Bacillus subtilis* B2. Food Control. 2008;19(7):654–661. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.009.

27. Ryabukha SS, Tymchouk SM, Pozdnyakov VV, Tertyshnyi AV. Content variability of to-copherols of different forms in soybean seeds. Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2011;148–149(2):81–85. (In Russ.).

28. Kucherenko LA, Efimenko SG, Petibskaya VS, Prudnikova TN. Tokoferoly semyan soi [Soybean tocopherols]. News institutes of higher Education. Food technology. 2008;303–304(2–3):24–26. (In Russ.).

29. Prokhvatilova SS. Opredelenie vitamina E v farmatsevticheskikh preparatakh metodom VEHZHKH [HPLC determination of vitamin E in pharmaceuticals]. Farmatsiya. 1998;(3):41–44. (In Russ.).

30. Kishenko VA, Levshuk IV, Efimenko SG. Determination of tocopherols in oils and oil content products with the method of highly effective liquid chromatography. Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2007;137(2):35–38. (In Russ.).

31. Tsochatzis ED, Tzimou-Tsitouridou R. Validated RP-HPLC method for simultaneous determination of tocopherols and tocotrienols in whole grain barley using matrix solid-phase dispersion. Food Analytical Methods. 2014;8(2):392–400. DOI: https://doi.org/10.1007/s12161-014-9904-9.

32. Yang F, Yang CX, Yan XP. Post-synthetic modification of MIL-101(Cr) with pyridine for high-performance liquid chromatographic separation of tocopherols. Talanta. 2015;137:136–142. DOI: https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.01.022.

33. Zhuravleva LN. Svyaz′ mezhdu izomernym sostavom tokoferolov i dlitel′nost′yu frityurnogo zhareniya masel [Isomeric composition of tocopherols vs. deep frying time]. Nauchnoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy proizvodstva i khraneniya sel′skokhozyaystvennoy i pishchevoy produktsii – Sbornik materialov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i aspirantov [Scientific support for innovative technologies for the production and storage of agricultural and food products – Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference of young scientists and graduate students]; 2014; Krasnodar. Krasnodar: State All-Russian scientific research institute of tobacco, makhorka and tobacco products of All-Russian Academy of Agriculture; 2014. p. 147–149. (In Russ.).

34. Eshchenko AYu, Zenkevich IG. Determination of tocopherols and tocotrienols in plant oils and some features of their composition. Vestnik of Saint Petersburg University. Physics and Chemistry. 2006;(4):68–75. (In Russ.).

35. Osipov MV, Rudenko OS, Parashina FI, Petrova NA, Yuzhakova KV, Savenkova TV. Change of the content of vitamins in the manufacture and storage of flour confectionery products. Food Industry. 2018;(12):46–49. (In Russ.).

36. Skurikhin IM, Tutel′yan VA. Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: Spravochnik [Chemical composition of Russian food products: Manual]. Moscow: DeLi print; 2002. 236 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Петрова Светлана Николаевна
канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры технологии пищевых продуктов и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., 7, e-mail: psn903@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4288-7514

Максимова Ирина Александровна
магистрант кафедры технологии пищевых продуктов и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., 7

Information about the authors

Svetlana N. Petrova
Cand.Sci.(Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetievskiy Ave., Ivanovo, 153000, Russia, e-mail: psn903@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4288-7514

Irina A. Maksimova
Undergraduate of the Department of Food Technology and Biotechnology, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetievskiy Ave., Ivanovo, 153000, Russia