

Научная статья

УДК 665.335.82

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-10-17

Использование 3D-спектров флуоресценции для идентификации подлинности масла виноградной косточки

В.А. Васильев¹, А.С. Реснянская^{2*}¹Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань²Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, Россия, Астрахань
*resnyanskaya-as@yandex.ru

Аннотация. Фальсификация масла виноградной косточки наносит серьезный ущерб потребителям и проявляет недобросовестную конкуренцию на рынке. 3D флуоресцентная спектроскопия была использована для определения характеристик флуорофоров масла и дифференциации образцов по критериям подлинности: способу получения, используемому сырью, производителю. В процессе исследования были получены 3D-спектры возбуждения-эмиссии нескольких образцов масла виноградной косточки различных производителей, доступных на российском рынке. Один из образцов с подтвержденной историей производства использован для сравнения. Результаты анализа полученных спектров по зонам максимумов на гиперповерхности матрицы поглощения-испускания были соотнесены с отдельными флуорофорами и их группами функциональных ингредиентов масла, обеспечивающих его физиологическую активность. Показана возможность использования полученных данных для установления подлинности образцов масла виноградной косточки и оперативного выявления фальсификаций. Исследование всех образцов проводилось в гексане. Получено, что подлинные образцы масел имеют на гиперповерхности интенсивности матрицы возбуждения-излучения отчетливо дифференцированные области очень высокой интенсивности с пиками, характерными для всех изомеров токоферолов и токотриенолов с преобладанием гамма изомера с ЕЕМ максимумом 292/324 нм. Также присутствуют интенсивные области поглощения каротиноидов 325/453 нм и изомерных форм хлорофилла 405–436/650–670 нм, при этом α форма превалирует. Интенсивны области поглощения процианидинов 280/316–324 нм; галловой кислоты 260/390 и кумаровой кислоты 270/420. Уникальность 3D-спектров флуоресценции для каждого масла и формирование полученного пула данных в виде трехмерной матрицы позволяет использовать их для целей машинного обучения и выделения значимых параметров стандартными методами хемометрики.

Ключевые слова: пищевые растительные масла; масло виноградной косточки; идентификация подлинности; трехмерная флуоресцентная спектроскопия;

Original article

Using 3D fluorescence spectra to identify the authenticity of grape seed oil

Vladimir A. Vasilyev¹, Anna S. Resnyanskaya^{2*}¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia²Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia
*resnyanskaya-as@yandex.ru

Abstract. Falsification of grape seed oil causes serious damage to consumers and shows unfair competition in the market. 3D fluorescence spectroscopy was used to characterize oil fluorophores and differentiate samples by identification criteria: method of preparation, raw material used, and manufacturer. During the study, 3D excitation-emission spectra of several samples of grape seed oil from various manufacturers available on the Russian market were obtained. One of the samples with confirmed production histories was used for comparison. The results of analysis of the obtained spectra by zones of maxima on the hypersurface of the absorption-emission matrix were correlated with individual fluorophores and their groups of functional ingredients of the oil, providing its physiological activity. The possibility of using the obtained data for identification of grapeseed oil samples and prompt detection of falsifications is shown. All samples were tested in hexane. It has been shown that genuine oil samples have distinctly differentiated regions of very high intensity on the hypersurface of the excitation-radiation matrix intensity with peaks characteristic of all isomers of tocopherols and tocotrienols with a predominance of the gamma isomer with an EEM maximum of 292/324 nm. There are also intense regions of absorption of carotenoids 325/453 nm and isomeric forms of chlorophyll 405–436/650–670 nm, the α form being the prevailing one. The absorption regions of procyanidins are intense 280 /316–324 nm; gallic acid 260/390 and coumaric acid 270/420. The uniqueness of the 3D fluorescence spectra for each oil and the formation of the resulting data pool in the form of a three-dimensional matrix allows them to be used for machine learning and the isolation of significant parameters by standard chemometrics.

Keywords: edible vegetable oils; grape seed oil; authentication; 3D fluorescence spectroscopy

Введение

Растительные масла одна из важнейших пищевых групп с объемом мирового производства в 2022 году более 211,7 млн тонн. Пищевые масла растительного происхождения заметно отличаются по компонентному составу жирных кислот, антиоксидантов, витаминов и других физиологически ценных компонентов. Основная доля производства приходится на масла бюджетного и технического сегмента. Объемы производства масел премиальной группы, обладающих наиболее ценными потребительскими свойствами, значительно ниже. Высокая стоимость, ограниченность сырья для производства и высокая востребованность приводят к их многочисленным фальсификациям. Наиболее частыми приемами мошеннических действий является полная или частичная подмена сырья на более дешевое, нарушение способа производства, недостоверное указание географического происхождения и сроков производства. Масло виноградной косточки, благодаря высокой биологической активности, становится модным трендом пищевой и косметической индустрии России.

Препараты на основе масла виноградной косточки обладают выраженными противовоспалительными, ранозаживляющими и антибактериальными свойствами [1]. Доказана их способность нивелировать воздействия «плохого» холестерина на сосуды, снижать риск возникновения ишемических состояний, поражения печени, профилактировать нейродегенеративные заболевания [2, 3]. Уникальное сочетание активностей повысило интерес к этому природному продукту и привело к значительному росту потребительского спроса. Если буквально несколько лет назад им торговали фармацевтические организации, то теперь это стандартный ассортимент торговых сетей. Рост потребления и расширение географии сбыта значительно повысили риск появления на рынке фальсификатов. Подобные подделки не только приводят к подрыву доверия к ценному продукту, но и могут нанести ущерб здоровью. Флуоресцентные методы анализа широко используются для контроля качества и безопасности пищевых продуктов и сырья при их производстве. Методики на базе флуоресцентного анализа включены в практику идентификации вин по месту происхождения и производителю [4, 5], возрасту коньяков [6], подлинности соков [7], качеству молочной и мясной продукции, муки, меда [8–11], а также растительных масел [12–15].

Достоинствами люминесцентного анализа являются простота выполнения измерений, наличие компактных приборов с возможностью интеграции в коммуникационные системы, неразрушающий тип контроля, минимальные требования к подготовке проб, низкая себестоимость, большая чувствительность, простота обработки результатов. Недостатками метода считаются высокая зависимость от рассеяния света, характеристик раствора, а также сложность анализа мультифлуорофорных систем [16, 17]. Совершенствование оптических схем современных приборов позволило значительно снизить воздействие внешних факторов, однако наложению характеристических зон возбуждения и эмиссии остается сложной задачей, решение которой трудно реализуемо в условиях классической флуоресцентной спектроскопии. Для ее решения предложены различные подходы, позволяющие дифференцировать максимумы интенсивности близких по параметрам флуорофорных систем. Одним из ведущих направлений является флуоресцентная спектроскопия возбуждающе-эмиссионной матрицы (ЕЕМФ), позволяющая получать трехмерные спектры, на которых селективно отражаются все флуоресцирующие группы [18–20]. Трехмерная флуоресцентная спектроскопия была успешно применена для выявления фальсификатов кунжутного масла, масла грецкого ореха, камелии, гранатовых косточек путем его разбавления более дешевыми маслами – соевым, кукурузным, рапсовым [21–24]. Анализ актуальных публикаций в информационных базах PubMed, Google Scholar, ResearchGate показал, что проблематике изучения масла виноградной косточки методами дифференциальной флуоресцентной спектроскопии посвящено крайне ограниченное количество работ. Исследователи из Ирана [25] использовали метод флуоресцентной спектроскопии возбуждения эмиссии для обнаружения в составе масел виноградной косточки, полученной из различных сортов винограда в пяти провинциях Ирана, примесей дешевых растительных масел. В экспериментах польских авторов [26], метод 3D флуоресцентной спектроскопии использовался для скрининга биологически активных соединений в составе используемых в фармацевтике растительных масел, в том числе виноградной косточки. Работы российских авторов в области трехмерной флуоресцентной спектроскопии растительных масел обнаружить не удалось.

Цель данной работы – изучить возможность использования метода трехмерной флуоресцентной спектроскопии для идентификации подлинности масел виноградной косточки, присутствующих на российском рынке, а также способствовать привлечению внимания российских исследователей и лабораторий контроля качества пищевых продуктов к возможностям дифференциальной флуоресцентной спектроскопии в анализе ценных растительных масел.

Материалы и методы

Образцы. Методом трехмерной флуоресцентной спектроскопии проанализированы четыре образца масла виноградной косточки, представленные в различных сегментах российского рынка пищевых продуктов:

образец 1 – масло виноградной косточки позиционируется как прямого отжима нефilterованное, производства Испании. Образец получен в специализированном интернет-магазине;

образец 2 – масло виноградной косточки позиционируется как прямого отжима нефilterованное, нерафинированное, производства Киргизии. Образец получен от крупного сетевого магазина;

образец 3 – масло виноградных косточек нерафинированное, первого холодного отжима получено непосредственно от производителя (ОАО АПФ «Фанагория», Россия, Краснодарский край, Темрюкский р-н). Подтверждена дата производства, полностью задокументирована вся технологическая цепочка, начиная от входного контроля качества сырья, до розлива в потребительскую тару. Сырьем для масла послужили косточки винограда сортов «каберне совиньон» и «шардоне». Косточка получена в процессе производства вина ЗГУ «Кубань. Таманский полуостров» сухое белое каберне совиньон и шардоне. Подлинность образца, способ производства и аутентичность не вызывают сомнений, поэтому он использовался в качестве контрольного при проведении исследования;

образец 4 – масло виноградное рафинированное, производство Кордова, Испания, выпущено под торговой маркой Global Village, приобретено в сетевом магазине шаговой доступности.

Оборудование. Для получения трехмерных спектров флуоресценции был использован двухлучевой спектрофотометр-флуориметр СФФ-2 «Флуоран» (ВНИИОФИ, Россия, Москва). Прибор предназначен для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания, а также для регистрации спектров пропускания и флуоресценции жидких и твердых образцов.

Перед проведением измерений была определена степень разбавления с таким расчетом, чтобы уровень максимумов флуоресценции лежал в среднем диапазоне регистрации. Экспериментально определили, что такое значение соответствует стократному разбавлению образца с получением 1% раствора исследуемого масла в *n*-гексане по объему. Использовался *n*-гексан для УФ спектроскопии по ТУ 2631-158-44493179-13 (АО «ЭКОС-1», Россия). Параметры снятия спектральных данных представлены в таблице.

Таблица. Параметры снятия спектральных данных на СФФ-2 «Флуоран»

Table. Parameters of spectral data acquisition on Fluorane SFF-2

Параметр	Значения
быстрый монохроматор	входной
число импульсов лампы	10
напряжение лампы	700/1000 Вт
щели входного монохроматора	высокие 5 нм
щели выходного монохроматора	5 нм
чувствительность опорного канала	1
чувствительность измерительного канала	1
усиление абсорбционного канала	10,0
усиление флуоресцентного канала	650,0/720,0

Результаты и их обсуждение

3D-спектры представляют собой матрицу интенсивности флуоресценции в зависимости от длины волны эмиссии и возбуждения (ЕЕМ) в классической системе по оси абсцисс (OX) откладывается длина волны эмиссии, по оси ординат (OY) – возбуждения, по оси аппликат (OZ) – величины, характеризующие уровень флуоресценции. Полученную модель принято обозначать как «флуоресцентный

ландшафт», так как она характеризует уникальную сигнатуру исследуемого растительного масла и содержит закодированную информацию обо всех флуоресцирующих компонентах. Полученные данные могут одновременно использоваться для качественной и количественной оценки образца. Объем массива данных, полученный в процессе анализа, зависит от ряда варьируемых параметров – дискретности длинны волны (0,1–2,0 нм) и диапазона волн от 190 до 1100 нм. При максимальном использовании возможностей прибора матрица, характеризующая флуоресцентные свойства растительного масла, будет содержать порядка 82 млн цифровых значений. Процесс снятия подобного спектра занимает несколько часов и требует больших объемов для хранения и обработки данных, поэтому в каждом конкретном случае время анализа минимизируется с сохранением информативности за счет подбора оптимальных параметров в зависимости от преобладающего в масле типа флуоресцирующего компонента. Основными функциональными компонентами, обеспечивающими физиологическую активность масла виноградной косточки, являются полиненасыщенные жирные кислоты, токоферолы, токотриенолы, ретинол, фенольные соединения, хлорофиллы, поэтому трехмерные спектры флуоресценции образцов масел снимались в характеристических областях поглощения и испускания данных групп соединений.

Токоферолы и токотриенолы представлены четырьмя изомерными формами – α , β , δ , γ , каждая из которых характеризуется очень близкими флуоресцентными характеристиками, что затрудняет их персональную идентификацию методами классического флуоресцентного анализа. Анализ трехмерных спектров, снятых в области длин $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ 290–297/320–330 нм, позволяет оценить вклад каждого изомера в интенсивность флуоресценции и выделить их превалирующий пул (рисунок 1 и 2).

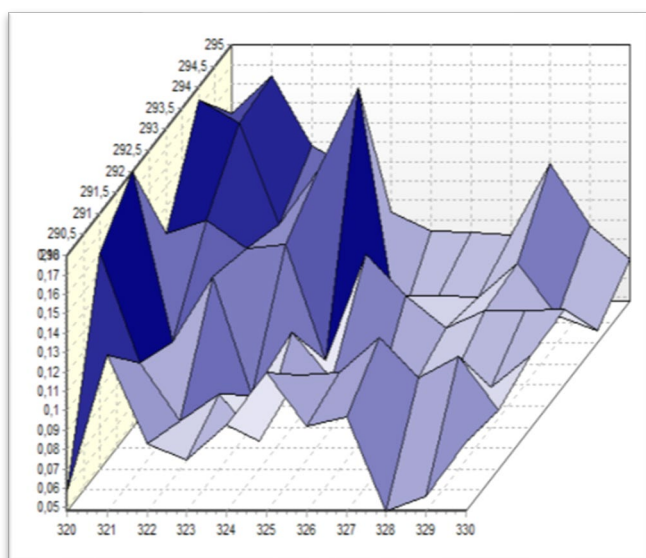


Рисунок 1 – 3D спектр образца 3 в характеристической области токоферолов и токотриенолов

Figure 1. 3D spectrum of sample 3 in the characteristic region of tocopherols and tocotrienols

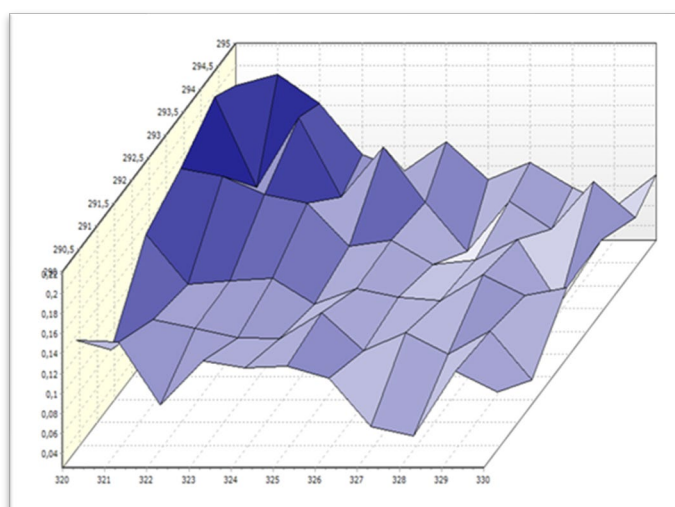


Рисунок 2 – 3D Спектр образца 2 в характеристической области токоферолов и токотриенолов

Figure 2. 3D spectrum of sample 2 in the characteristic region of tocopherols and tocotrienols

Фенольные соединения: полифенолы, процианидины, галловая кислота. Данная группа соединений интенсивно поглощает световое излучение в области длин волн 260–280 нм. Испускание происходит у процианидинов в диапазоне 316–324 нм, галловой кислоты 390–392 нм, полифенолов (катехин и эпикатехин) 308–309 нм. На рисунках 3 и 4 приводятся 3D спектры в характеристических областях для данной группы соединений.

Хлорофиллы. Данная группа соединений в маслах прямого отжима представлена α и β изомерами, максимумы поглощения для которых находятся в области 420–430 нм. Максимальное испускание для α и β изомера фиксируется в области 668–670 и 648–652 нм соответственно. Анализ трехмерных спектров, снятых в области длин $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ 370–430/650–680 нм, позволяет оценить вклад каждого изомера в интенсивность флуоресценции (рисунок 5).

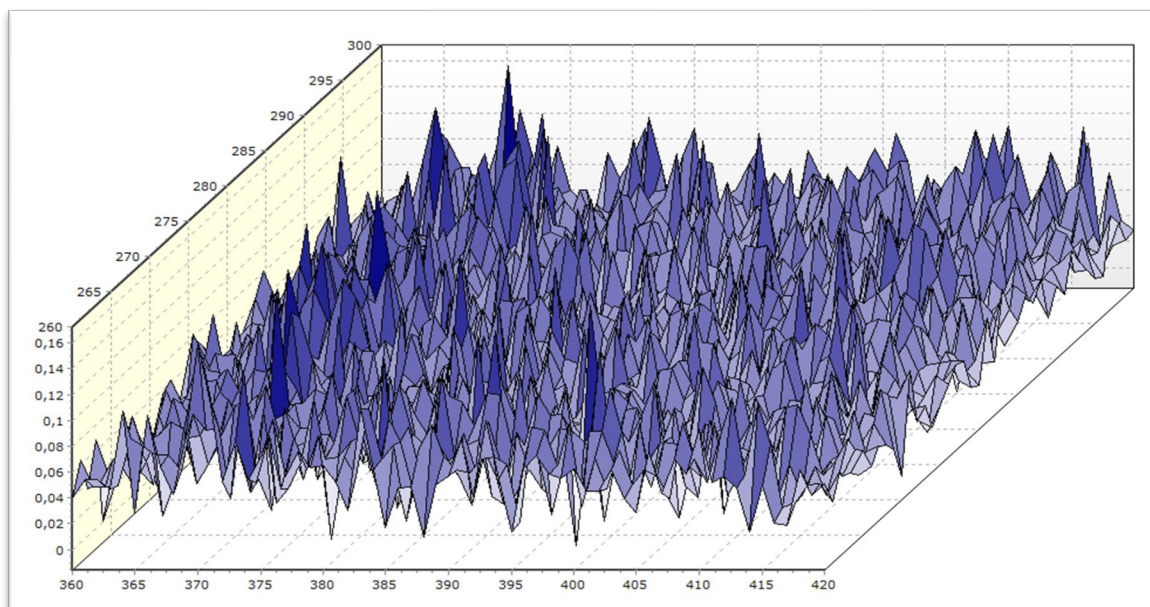


Рисунок 3 – 3D спектр образца 3 в характеристической области полифенолов и процианидинов, галловой кислоты
 Figure 3. 3D spectrum of sample 3 in the characteristic region of polyphenols and procyanidins, and gallic acid

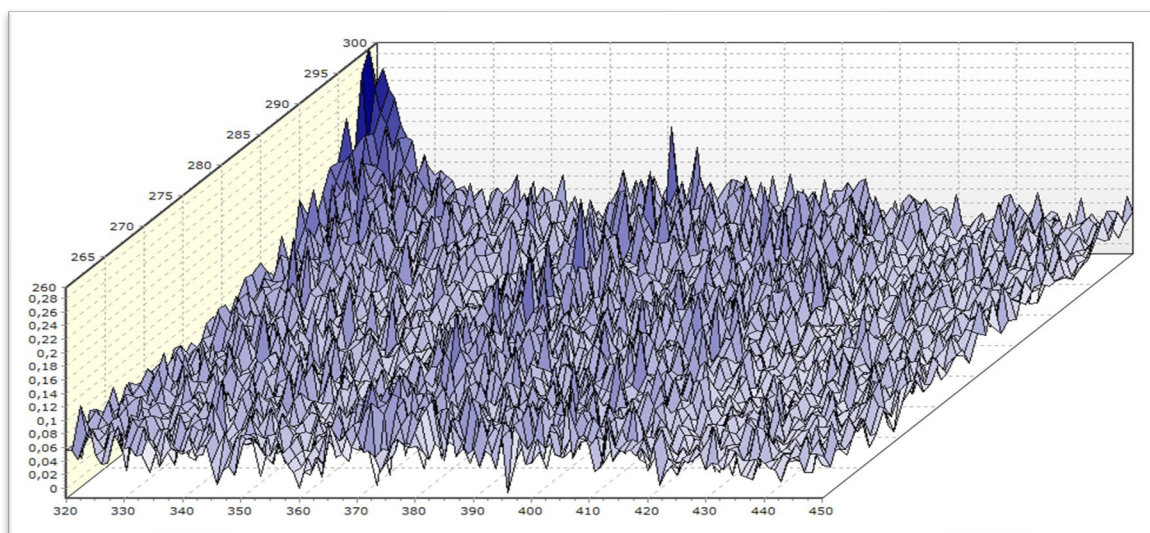


Рисунок 4 – 3D спектр образца 1 в характеристической области полифенолов и процианидинов, галловой кислоты
 Figure 4. 3D spectrum of sample 3 in the characteristic region of polyphenols and procyanidins, and gallic acid

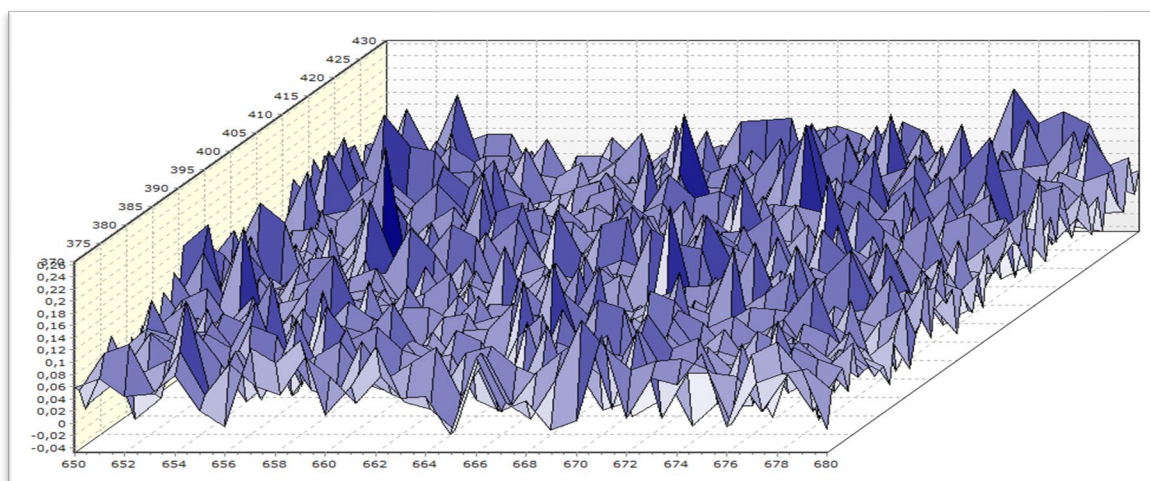


Рисунок 5 – 3D спектр образца 3 в характеристической области хлорофиллов
 Figure 5. 3D spectrum of sample 3 in the characteristic region of chlorophylls

В образце 1 на ЕЕМ спектре видны интенсивные пики, характерные для всех изомеров токоферола и токотриенола с преобладанием γ изомера максимум 292/324 нм, зоны полифенолов и хлорофилла не дифференцированы. В образце 2 присутствуют слабо дифференцированные области средней интенсивности с пиком, характерным для α изомера токоферола с максимумом $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ 295/322 нм. Прочие интенсивности отсутствуют. В образце 3 присутствуют отчетливо дифференцированные области очень высокой интенсивности с пиками, характерными для всех изомеров токоферола и токотриенола с преобладанием γ изомера с ЕЕМ максимумом 292/324 нм. Наряду с этим интенсивны области поглощения каротиноидов 325/453 нм, изомеров хлорофилла 405–436/650–670 нм с преобладанием α изомера. Весьма интенсивны области поглощения процианидинов 280/316–324 нм; галловой кислоты 260/390 и кумаровой кислоты 270/420; изомеров хлорофилла 405–436/650–670 нм с преобладанием α изомера. В образце 4 присутствуют дифференцированные области средней интенсивности с пиками характерными для α изомера токоферола с ЕЕМ максимумом 295/325 нм. Прочие интенсивности практически отсутствуют. Подлинное масло виноградной косточки прямого отжима должно содержать большое количество изомеров токоферолов и токотриенолов с преобладанием γ изомера последнего.

В образцах масел, полученных экстракционным способом, профиль токоферолов сохраняется, но их количество снижается в среднем на 30–50%. Приведенные данные по сумме спектральных параметров показывают, что образец 3 является подлинным маслом прямого отжима, а образец 1 подлинным маслом, полученным экстракционным способом. В образцах 2 и 4 характеристические признаки отсутствуют. Масло прямого отжима, как правило, содержит некоторое количество полифенольных примесей (катехина, эпикатехина, процианидинов), которые, несмотря на плохую растворимость в маслах, всегда попадают в него и удаляются только при рафинировании. В экстракционных маслах они содержатся в следовых количествах, поэтому спектральные следы их присутствия являются признаками только нерафинированного масла прямого отжима. Спектральные данные показывают, что только образец 3 содержит характерную спектральную картину их присутствия, в образце 1 присутствуют лишь их нечеткие контуры, в образцах 2 и 4 характеристические признаки отсутствуют. Масла прямого отжима содержат некоторое количество изомеров хлорофилла с преобладанием α изомера. Данные соединения в силу биологических функций имеют уникальные спектрально-флуоресцентные характеристики и способны проявлять их, присутствуя в минимальных концентрациях. При этом, если в дифференциальных спектрах в области высокой интенсивности изомеры хлорофилла слабо различимы, то в диапазонах более близких к видимому свету происходит дифференциация пиков изомеров, что видно на примере образца 3, в остальных образцах данные спектральные диапазоны чисты. Поэтому образцы 1, 2 и 4 не могут являться маслами прямого отжима.

Заключение

Масло виноградной косточки, полученное методом прямого прессования, имеет характерный спектрально-люминесцентный профиль, обусловленный оптическими свойствами флуоресцентно активных маркерных соединений, входящих в его состав – токотриенолов, токоферолов, хлорофилла. Наиболее активны пики γ -токотриенола и изомеров хлорофилла. Использование трехмерной флуоресцентной спектроскопии в дополнение к другим методам спектрального анализа позволяет конкретизировать пики изомеров токоферолов, хлорофилла, токотриенолов и других физиологически важных ингредиентов, что делает перспективным использование данных методов в составе мобильных экспресс-систем выявления фальсификаций ценных пищевых растительных масел.

Литература/References

1. Hartati J., Damayanti M., Nur I., Furqaani A., Sari A., Rachmawati M., Siddiq T., Muhammad F.T., Radina F. Clove Extract and grape seed oil nanoemulsion for oral diseases therapy: antibacterial and antioxidant activities. *J. Global Medical & Health Communication*. 2023, V. 11, no. 3, pp. 234–241. DOI: 10.29313/gmhc.v11i3.12916.
2. Lucarini M., Durazzo A., Di Stefano V., Di Lena G., Lombardi-Boccia G., Santini A. *Bioactive phytochemicals from grape seed oil processing by-products*. In: Ramadan Hassani M.F. (Eds.) *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products*. Reference Series in Phytochemistry. Springer. 2023, pp. 289–308. DOI: 10.1007/978-3-030-91381-6_13.

3. Pazos-Tomas C., Cruz-Venegas A., Pérez-Santiago A., Sánchez-Medina M., Matías-Pérez D., García-Montalvo I. Vitis vinífera: An Alternative for the Prevention of Neurodegenerative Diseases. *Journal of Oleo Science*. 2020, V. 69, no. 10, pp. 1147–1161. DOI: 10.5650/jos.ess20109.
4. Левин А.Д., Нагаев А.И., Садагов А.Ю., Карачотин С.Н. Качественный анализ вин на основе совместного использования их оптических спектров различной физической природы // Аналитика и контроль. 2018. Т. 22. № 2. С. 147–156. DOI: 10.15826/analitika.2018.22.2.001.
Levin A., Nagaev A., Sadagov A., Karachotin S. Qualitative analysis of wines based on the joint use of their optical spectra of different physical nature. *Analytics and Control*. 2018, V. 22, no. 2, pp. 147–156. DOI: 10.15826/analitika.2018.22.2.001 (In Russian)
5. Clément A., Panneton B., Bastien R., Fernandez P. Ice cider fingerprinting using optical spectroscopy and simple laboratory measurements. *Journal of Food Engineering*. 2017, V. 204, pp. 55–63. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.013.
6. Sahakyan A., Alenichev M., Levin A. Characterization of cognacs and grape brandies by fluorescence spectra processed using machine learning methods. *J. Industrial laboratory. Diagnostics of Materials*. 2023, V. 89, no. 10, pp. 25–33. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-10-25-33.
7. Sikorska E., Włodarska K., Khmelinskii I. Application of multidimensional and conventional fluorescence techniques for classification of beverages originating from various berry fruit. *J. Methods and Applications in Fluorescence*. 2019, V. 8, no. 1. DOI: 10.1088/2050-6120/ab6367.
8. Belyakov M., Samarin G., Ruzhev V., Kudryavtsev A., Efremkov I., Blinov N. Photoluminescence spectral patterns and parameters of milk while souring. *J. Agriculture*. 2023, V. 13, no. 5, article 1054. DOI: 10.3390/agriculture13051054.
9. Shchupakova Y., Vasilevich F., Petrova Y. Using modern research methods for identifying specific falsification of prepared lamb meat products marked as Halal. *Bio Web of Conferences: collection of works*. EDP Sciences. 2020. V. 17, article 00206. DOI: 10.1051/bioconf/20201700206
10. Lenhardt L., Zeković I., Dramićanin T., Milićević B., Burojević J., Dramićanin M.D. Characterization of cereal flours by fluorescence spectroscopy coupled with PARAFAC. *J. Food Chem*. 2017, V. 229, pp. 165–171. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.02.070.
11. Suci R., Guyon F., Magdas A. Application of emission – excitation matrices in parallel with factor analysis with other chemometric techniques for honey classification. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022, V. 107, no. 1, article 104401. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104401.
12. Farres S., Srata L., Chikri M., Addou S., Fethi F. Rapid detection of argan oil adulteration by frying oils using laser induced fluorescence spectroscopy combined with chemometrics tools. *J. Grasas y Aceites*. 2023, V. 74, no. 3, article e520. DOI: 10.3989/gya.0565221.
13. Al Riza D.F., Kondo N., Rotich V.K., Perone C., Giametta F. Cultivar and geographical origin authentication of Italian extra virgin olive oil using front-face fluorescence spectroscopy and chemometrics. *J. Food Control*. 2021, V. 121, no. 9, article 107604. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107604.
14. Lobo-Prieto A., Tena N., Aparicio-Ruiz R., García-González D.L., Sikorska E. Monitoring virgin olive oil shelf-life by fluorescence spectroscopy and sensory characteristics: A multidimensional study carried out under simulated market conditions. *J. Foods*. 2020, V.9, no. 12, article 1846. DOI: 10.3390/foods9121846.
15. Poulli K.I., Mousdis G.A., Georgiou C.A. Synchronous fluorescence spectroscopy for quantitative determination of virgin olive oil adulteration with sunflower oil. *J. Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2006, V. 386, no.5, pp. 1571–1575. DOI:10.1007/s00216-006-0729-2.
16. Karoui R. Spectroscopic technique: Fluorescence and ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopies. In Sun D.-W. (Eds.) *Modern Techniques for Food Authentication*. Elsevier Inc., Academic Press. 2018, Ch. 7, pp. 219–252. DOI: 10.1016/B978-0-12-814264-6.00007-4.
17. Wu X., Niu Y., Gao S., Zhao Z., Xu B., Ma R., Liu H., Zhang Y. Identification of antioxidants in edible oil by two-dimensional correlation spectroscopy combined with deep learning. *LWT – Food Science and Technology*. 2022, V. 162, no. 3, article 113436. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113436
18. Liu Y., Yao L., Xia Z., Gao Y., Gong Z. Geographical discrimination and adulteration analysis for edible oils using two-dimensional correlation spectroscopy and convolutional neural networks (CNNs). *J. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2021, V. 246, article 118973. DOI: 10.1016/j.saa.2020.118973.
19. Khan M.F.S., Akbar M., Wu J., Xu Z. A review on fluorescence spectroscopic analysis of water and wastewater. *Methods Appl Fluoresc*. V. 10, no. 1, article 012001. DOI: 10.1088/2050-6120/ac3d79.
20. Kong D., Cui Y., Kong L., Wang S. Classification of oil pollutants based on excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy and two-dimensional discriminant analysis. *J. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2019, V. 228, no. 1, article 117799. DOI: 10.1016/j.saa.2019.117799.
21. Pan Zh., Li R., Cui Y., Wu X., Zhang Yu., Wang Yu. A simple and quick method to detect adulterated sesame oil using 3D fluorescence spectra. *J. Spectrochimica Acta. Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2020, V. 245, no. 7, article 118948. DOI: 10.1016/j.saa.2020.118948.
22. Zhang Ya., Wu H.-L., Chen An-Qi., Dong M.-Yu., Wang T., Wang X.-Zh., Yu Yu-Q. Combination of excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy and chemometric methods for the rapid identification of cheaper

- vegetable oil adulterated in walnut oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022, V. 16, no. 6, pp. 4514–4525 DOI: 10.1007/s11694-022-01536-6.
23. Farooq Sh., Ahmad M., Ali U., Li Ya., Shixiu C., Zhang H. A review of advanced techniques for detecting the authenticity and adulteration of camellia oil. *J Am Oil Chem Soc*. 2023, pp. 1–19. DOI: 10.1002/aocs.12796.
24. Uncu O., Napiórkowska A., Szajna T., Ozen B. Evaluation of three spectroscopic techniques in determination of adulteration of cold pressed pomegranate seed oils. *Microchemical Journal*. 2020, no. 11, article 105128. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105128.
25. Zielińska A., Kubasiewicz K., Wójcicki K., Silva A., Nunes F.M., Szalata M., Słomski R., Eder P., Souto E.B. Two- and three-dimensional spectrofluorimetric qualitative analysis of selected vegetable oils for biomedical applications. *J. Molecules*. 2020, V. 25, no. 23, pp. 5608–5620. DOI: 10.3390/molecules25235608.
26. Karuk E.S., Arslan F.N., Akin G., Kenar A., Janssen H.-G., Yilmaz I. Synchronous fluorescence spectroscopy combined with chemometrics for rapid assessment of cold-pressed grape seed oil adulteration: Qualitative and quantitative study. *Talanta*. 2019, V. 196, pp. 22–31. DOI: 10.1016/j.talanta.2018.12.026.

Информация об авторах

Владимир Анатольевич Васильев – канд. хим. наук, доцент
Анна Станиславовна Реснянская – канд. хим. наук, доцент

Information about the authors

Vladimir A. Vasilyev, Ph.D. (Chem.), Associate Professor
Anna S. Resnyanskaya, Ph.D. (Chem.), Associate Professor

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 08.08.2024
Одобрена после рецензирования 09.00.2024
Принята к публикации 10.09.2024

The article was submitted 08.08.2024
Approved after reviewing 09.00.2024
Accepted for publication 10.09.2024