

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-2-I-5-12>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АУТЕНТИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ ЦВЕТОМЕТРИИ И ХЕМОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

© Василий Григорьевич Амелин^{1,2*}, Зин Алабдин Чалави Шаока¹, Дмитрий Сергеевич Большаков³, Алексей Викторович Третьяков²

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87; *e-mail: amelinvg@mail.ru

² Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Россия, 123022, Москва, Звенигородское шоссе, д. 5.

³ Центр гигиены и эпидемиологии в Владимирской области, Россия, 600005, г. Владимир, ул. Токарева, д. 5

Статья поступила 28 августа 2022 г. Поступила после доработки 28 октября 2022 г. Принята к публикации 24 ноября 2022 г.

Описан простой и доступный способ идентификации и аутентификации пищевых растительных масел с использованием смартфона и хемометрического анализа. Идентификацию по региону происхождения и видовой принадлежности (оливковое, подсолнечное, рапсовое, хлопковое и др.) и аутентификацию (подлинность и фальсификация) растительных масел осуществляли по собственной окраске и флуоресценции при облучении образцов монохроматическим ультрафиолетовым излучением ($\lambda = 365$ нм). В качестве регистрирующего устройства при изучении оптических и цветометрических характеристик применяли смартфоны iPhone X и iPhone XIII (Apple, США), оснащенные специализированным программным обеспечением RGBer. Предложены тест-устройство на базе смартфона и способ измерения цветометрических параметров в аддитивной системе RGB для идентификации и аутентификации пищевых растительных масел. Обработку массива данных (по трем переменным R, G и B) проводили с использованием программного продукта XLSSTAT. Для дифференциации образцов по региону происхождения и видовой принадлежности использовали методы главных компонент и иерархического кластерного анализа. Апробация представленного подхода выполнена с использованием образцов растительных масел коммерческого производства, приобретенных в магазинах розничной торговли. Применение хемометрического анализа позволило установить подлинность масел, идентифицировать их по региону происхождения и выявить факты фальсификации путем разбавления дорогих масел более дешевыми. Предложенный способ оценки качества растительной продукции отличают простота аппаратного оформления, доступность используемых технических средств и материалов, возможность анализа на месте без привлечения высококвалифицированных специалистов, а также наглядность и экспрессность получения информации.

Ключевые слова: идентификация и аутентификация растительных масел; цифровая цветометрия; смартфон; хемометрический анализ.

TITRATION CURVE FOR THE DETERMINATION OF FREE LITHIUM IN A LITHIUM-BORON ALLOY

© Vasily G. Amelin^{1,2*}, Zen Alabden Ch. Shogah¹, Dmitry S. Bolshakov³, Alexey V. Tretyakov²

¹ Alexander Stoletov and Nikolay Stoletov Vladimir State University, 87, Gor'kogo ul., Vladimir, 600000, Russia; *e-mail: amelinvg@mail.ru

² The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, 5, Zvenigorodskoye shosse, Moscow, 123022, Russia.

³ Center for Hygiene and Epidemiology in the Vladimir Region, 5, Tokareva ul., Vladimir, 600005, Russia.

Received August 28, 2022. Revised October 28, 2022. Accepted November 24, 2022.

A simple and available method for identification and authentication of edible vegetable oils using a smartphone and chemometric analysis is presented. Identification of oils by the region of origin and species (olive, sunflower, rapeseed, cotton, etc.), as well as their authentication (authenticity and falsification) were carried out by the intrinsic color of vegetable oils and fluorescence under irradiation of the samples with monochromatic ultraviolet light ($\lambda = 365 \text{ nm}$). The iPhone X and iPhone XIII smartphones (Apple, USA) equipped with a specialized software (RGBer) were used as a color-recording device in the study of optical and colorimetric characteristics. A smartphone-based test device and a method for measuring colorimetric parameters in an additive RGB system for identification and authentication of edible vegetable oils are proposed. The processing of the data array (for three variables R, G, and B) was carried out using the XLSTAT software product. To differentiate the samples by the region of origin and species, the method of principal components and hierarchical cluster analysis were used. Approbation of the developed approach was carried out on the samples of commercially produced vegetable oils purchased in retail stores. The use of algorithms of chemometric analysis made it possible to establish the authenticity of vegetable oils, identify them by the region of origin, and to reveal facts of falsification by diluting expensive oils with cheaper ones. The developed method for assessing the quality of plant products is advantageous for the simplicity of hardware design, the availability of technical means and materials used, the possibility of in situ analysis without involving highly qualified specialists, and the clarity and speed of obtaining information.

Keywords: identification and authentication of vegetable oils; digital colorimetry; smartphone; chemometric analysis.

Введение

Актуальность разработки новых подходов для установления подлинности и проведения аутентификации пищевых продуктов обусловлена многообразием подделок и фальсификатов на рынке, которые наносят существенный экономический урон странам-производителям оригинальной продукции. Выявление фальсификации растительных масел осуществляют преимущественно хроматографическими и спектроскопическими методами [1 – 5]. Более доступным, но не менее эффективным и обладающим большим потенциалом является метод цифровой цветометрии. Мобильность цифровых устройств и универсальность цветометрических систем способствует внедрению метода в различных областях аналитической химии [6, 7]. В рамках научных исследований на сегодняшний день цветометрия с использованием смартфона нашла широкое применение в фармацевтическом анализе [8 – 10], анализе объектов окружающей среды [11, 12] и пищевой продукции [12]. Дополнительное привлечение методов статистической обработки данных значительно увеличивает возможности цветометрии в целях идентификации и аутентификации [13 – 19]. Так, с использованием микрожидкостного устройства и смартфона разработан простой способ определения полифенолов методом цифровой цветометрии [13]. Разбавление образца *n*-пропанолом позволило провести прямой анализ оливкового масла на бумажной подложке, пропитанной реактивом Фолина – Чокалтеу, без предварительной экстракции. Предел обнаружения полифенолов в пересчете на галловую кислоту составил 30 мкг/г.

Для смесей подсолнечного, хлопкового или рапсового масла с применением системы CIELab

и фотоаппарата продемонстрирована разница в цветовых параметрах, обусловленная содержанием таких пигментов, как хлорофилл и бета-каротин [14]. В работе статистически доказано наличие различий в значениях исследуемых показателей. Показано, что дискриминантный анализ является эффективным инструментом для качественной дифференциации натурального подсолнечного масла и фальсифицированного образца, содержащего примеси других масел.

Растительные масла проявляют флуоресцентные свойства за счет присутствия в них токоферолов, хлорофиллов и фенольных соединений. По соотношениям α -токоферол/ $(\beta + \gamma)$ -токоферол и δ -токоферол/ $(\beta + \gamma)$ -токоферол, найденным методом флуоресцентной спектроскопии, определяют фальсификацию оливкового масла [15].

Представлена новая сенсорная система для аутентификации пищевых продуктов (оливкового масла и молока), основанная на компьютерном зрении и распознавании образов [16]. Система использует смартфон для последовательной генерации излучения разной длины волны для освещения образца, при этом камера смартфона служит для регистрации отраженного света путем записи видео. Видео обрабатывают с помощью методов компьютерного зрения и преобразуют в данные датчика в виде вектора данных. Данные датчика, в свою очередь, анализируют с использованием методов распознавания образов. Для классификации продукции в целях повышения эффективности и надежности применяют метод частичной регрессии наименьших квадратов. При проверке подлинности оливкового масла и молока достоверность составила 96,2 и 100 % соответственно.

Для классификации образцов оливкового масла первого отжима (марок А, В и С) и проверки фальсификации соевым маслом предложены новые подходы, основанные на цифровых изображениях [17, 18] и методах контролируемого распознавания образов [17]. Данные в цветовом пространстве RGB использовали для разработки моделей классификации на основе линейного дискриминантного анализа с предварительным выбором переменных алгоритмом последовательных проекций и дискриминантным анализом на основе частичных наименьших квадратов.

В работе [19] представлен простой и недорогой подход, основанный на распознавании цифровых изображений и образов, для классификации пищевых растительных масел по видовой принадлежности (соевое, рапсовое, подсолнечное и кукурузное) и состоянию хранения (просроченное и непросроченное). Для этого были получены изображения образцов растительного масла с веб-камеры и вычислено частотное распределение показателей цвета в каналах RGB, оттенка (H), насыщенности (S), интенсивности (I) и оттенков серого. Для построения моделей классификации использовали линейный дискриминантный анализ на основе сокращенного подмножества переменных. Результаты свидетельствуют о том, что разработанный способ является многообещающей альтернативой для проверки подлинности и состояния хранения пищевых растительных масел.

Предложенные в научных работах подходы для выявления фальсификации или определения видовой принадлежности растительных масел основаны на исключительных свойствах анализируемого объекта. Растительные масла содержат пигменты, характеризующие их цвет. Желтый и оранжевый оттенки цвета связаны с наличием в маслах каротиноидов. Растительные масла, как правило, содержат β -каротин. Зеленый оттенок маслу придает хлорофиллы, преимущественно сине-зеленый хлорофилл А и желто-зеленый хлорофилл В. Для растительных масел в большинстве случаев характерно присутствие хлорофилла В [20].

В данной работе продемонстрирован простой и доступный способ идентификации и аутентификации растительных масел методами цифровой цветометрии и хемометрического анализа.

Экспериментальная часть

Аппаратура. В качестве цветорегистрирующего устройства при изучении оптических и цветометрических характеристик использовали смартфоны iPhone X и iPhone XIII (Apple, США), оснащенные специализированным программным обеспечением RGBer. Возбуждение флуоресцен-

ции проводили посредством источника монохроматического излучения с длиной волны 365 нм, в качестве которого применяли осветитель люминесцентный диагностический «Лампа Вуда ОЛДД-01» (Россия).

В работе использовали одноканальные механические дозаторы переменного объема 50 – 100 мкл, 1000 – 5000 мкл Proline Biohit (Biohit, Финляндия), пробирки полипропиленовые вместимостью 15 мл (SPL Life Sciences Co., Корея), пробирки Эпшендорфа вместимостью 0,5 мл (GenFollower Biotech Co., Китай).

Проведение анализа. Образцы растительных масел коммерческого производства для проведения исследований приобретали в магазинах розничной торговли (супермаркетах) г. Владимира в период с ноября 2021 г. по март 2022 г. (таблица). Образцы были упакованы в пластиковую или стеклянную тару. Отбор проб осуществляли с соблюдением сроков годности. Анализ проводили непосредственно после вскрытия упаковки. Крышки микропробирок Эпшендорфа заполняли образцами растительного масла, устанавливали на штатив и фотографировали камерой смартфона (рис. 1). При изучении флуоресценции масел тест-устройство облучали УФ-излучением ($\lambda = 365$ нм) и проводили фотографирование в темном помещении. Цветометрические характеристики образцов оценивали с использованием программного продукта «RGBer».

Для создания фальсифицированных смесей в пробирки вместимостью 15 мл помещали 1, 2, 4, 5, 6, 8 и 9 мл оливкового масла и соответственно 9, 8, 6, 5, 4, 2 и 1 мл подсолнечного масла, смеси тщательно перемешивали.

Хемометрический анализ. Для идентификации и аутентификации растительных масел применяли метод главных компонент (principal component analysis, PCA) и иерархический кластерный анализ (hierarchical clustering analysis, HCA) с использованием программного обеспечения XLSTAT (v. 2021.3.1).

Обсуждение результатов

Цветометрические параметры окраски (цвета) и флуоресценции пищевых растительных масел являются показателем суммарного содержания пигментов и фенольных соединений различной природы, количество и соотношение которых зависят от видовой принадлежности, региона происхождения, особенностей обработки и хранения.

После серии предварительных исследований установлено, что для идентификации оптимальной является статистическая обработка аддитивного показателя цвета в каналах RGB (по трем переменным R, G и B). Применение метода глав-

ных компонент и иерархического кластерного анализа для обработки массива данных позволило выполнить дифференциацию образцов растительного масла по их собственной окраске (рис. 2). По характеру распределения точек на

графике *PCA* и дендрограмме удается выделить значимые области для однозначного решения о происхождении представленных объектов. Образцы подсолнечного масла расположились на графике *PCA* в квадрантах I и II, образцы олив-

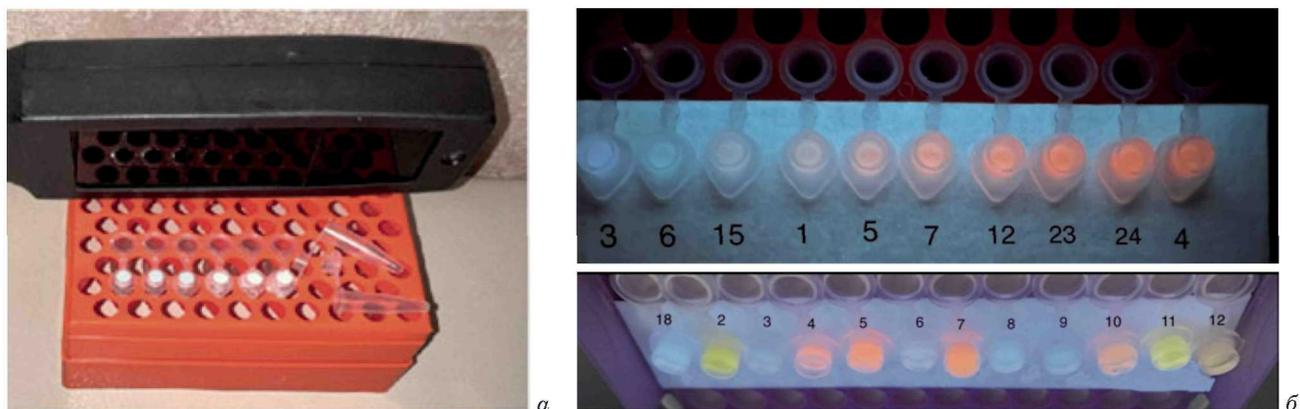


Рис. 1. Тест-устройство (а) и флуоресценция различных масел (б) (цифры на фото соответствуют номерам образцов растительных масел из таблицы)

Fig. 1. Test device (a) and fluorescence of various oils (b) (the numbers in the photo correspond to the numbers of vegetable oil samples from table)

Вид, торговая марка и страна-производитель образцов растительных масел

Type, trade mark, and the country of origin of vegetable oil samples

Номер образца	Вид растительного масла	Торговая марка	Страна-производитель
1	Оливковое	“Canolina”	Испания
2	Льняное нерафинированное	—	Россия
3	Подсолнечное с добавлением оливкового	«Altero»	Россия
4	Оливковое	“Fillippo Berio”	Италия
5	Оливковое	“Rocca”	Италия
6	Кокосовое	«Кокоса»	Россия
7	Оливковое	“Global Village”	Испания
8	Подсолнечное	«Россиянка»	Россия
9	Подсолнечное	«Золотая семечка»	Россия
10	Подсолнечное + оливковое	—	Россия
11	Горчичное	«Capento»	Россия
12	Оливковое	“Movini”	Италия
13	Кукурузное	«Русска»	Россия
14	Облепиховое	—	Россия
15	Подсолнечное с добавлением оливкового	«Alma DOR»	Россия
16	Подсолнечное рафинированное, дезодорированное	—	Россия
17	Пальмовое масло	—	Малайзия
18	Подсолнечное	—	Россия
19	Кунжутное	—	Россия
20	Льняное	—	Россия
21	Тыквенное	—	Россия
22	Горчичное	—	Россия
23	Оливковое	“Borges”	Испания
24	Оливковое	“Contadina”	Италия

кового масла — в квадрантах III и IV. Области в достаточной степени локализованы, что предотвращает выдачу ложноположительных результатов. На дендрограмме группы различных видов масел в полной мере разделены в отдельные ветви, не содержащие сомнительные или спорные объекты.

Исследование флуоресцентных свойств растительных масел посредством цветометрической системы RGB позволило разделить группу образцов на два отдельных, не перекрывающихся между собой кластера (рис. 3). На графике PCA видно, что образцы оливкового масла находятся в квадрантах I и II, образцы подсолнечного — в квадрантах III и IV. В этом случае удается проследить локальную кластеризацию выбранных для анализа объектов по региону выработки (стране-производителю). Образцы 4, 5, 12, 24 произведены в Италии, образцы 1, 7, 23 — в Ис-

пании (согласно информации на этикетке). Группы 4, 5, 12 и 1, 7, 23 расположены особенно плотно. Следует предположить, что валовое содержание флуоресцирующих компонентов (фенольных соединений и хлорофиллов) является более специфической характеристикой, уникальной для исходного сырья, чем наличие каротиноидов, ответственных за цвет конечного продукта.

Важно учитывать, что на содержание тех или иных компонентов в конечном продукте оказывает влияние рафинирование масла, схемы которого у различных производителей существенно различаются. Например, в случае адсорбционной рафинации масло осветляется и обесцвечивается. Метод главных компонент дает возможность разделить объекты по особенностям технологической обработки: на графике образцы 8, 9 (нера-

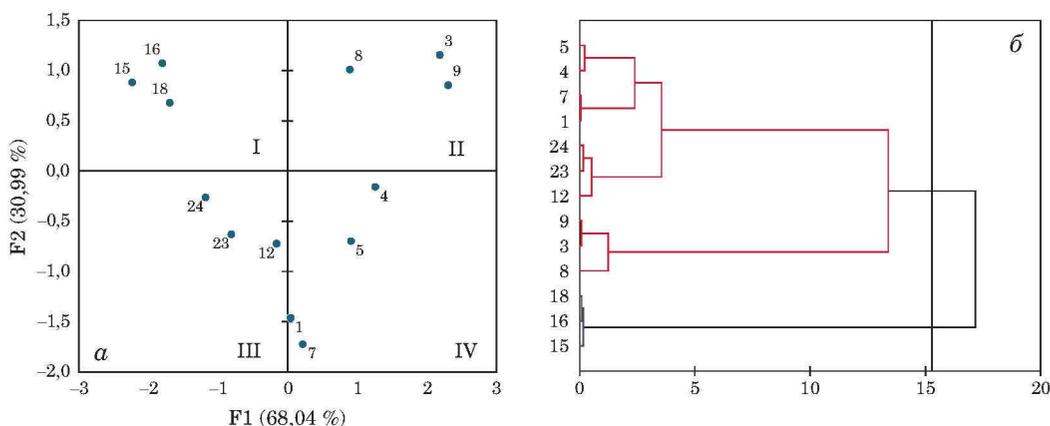


Рис. 2. График PCA для идентификации оливкового (1, 4, 5, 7, 12, 23, 24) и подсолнечного (3, 8, 9, 15, 16, 18) масел по собственной окраске (а) и соответствующая дендрограмма (б)

Fig. 2. PCA plot for identification of olive (1, 4, 5, 7, 12, 23, 24) and sunflower (3, 8, 9, 15, 16, 18) oils by their own color (a) and a corresponding dendrogram (b)

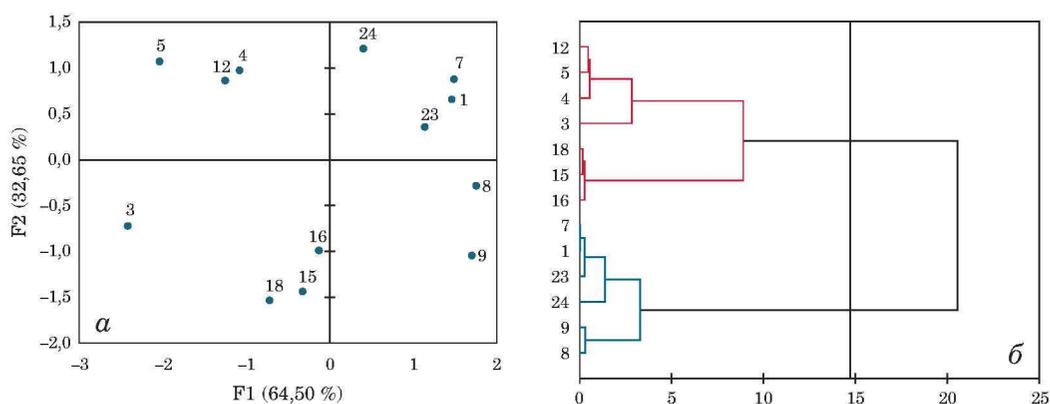


Рис. 3. График PCA для идентификации оливкового (1, 4, 5, 7, 12, 23, 24) и подсолнечного (3, 8, 9, 15, 16, 18) масел по их флуоресценции (а) и соответствующая дендрограмма (б)

Fig. 3. PCA plot for identification of olive (1, 4, 5, 7, 12, 23, 24) and sunflower (3, 8, 9, 15, 16, 18) oils by their fluorescence (a) and a corresponding dendrogram (b)

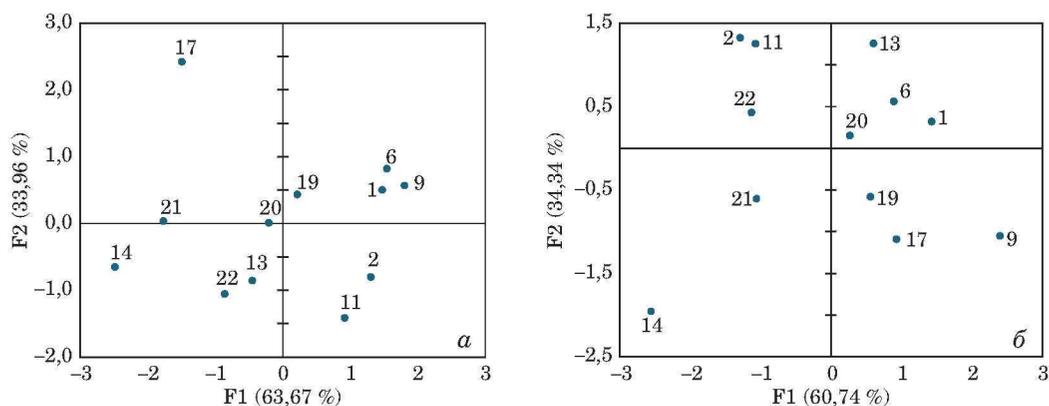


Рис. 4. График *PCA* для идентификации различных видов растительных масел по собственной окраске (а) и флуоресценции (б)

Fig. 4. *PCA* plot for identification of various types of vegetable oils by their own color (а) and fluorescence (б)

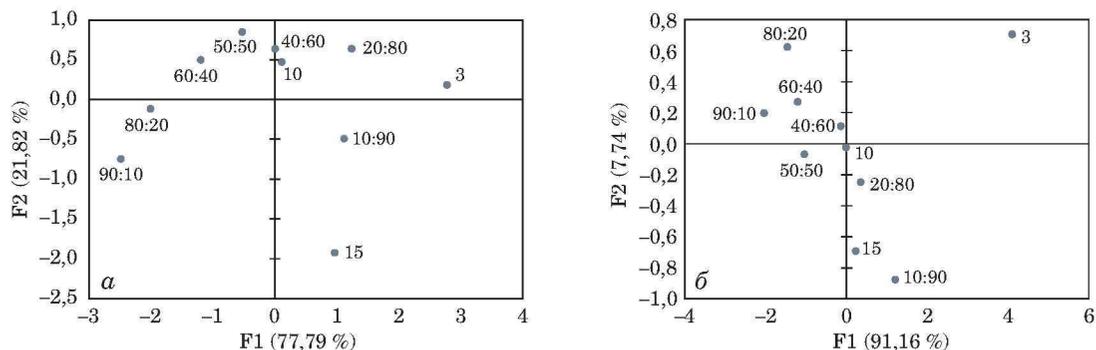


Рис. 5. График *PCA* для идентификации разбавления оливкового масла подсолнечным по флуоресценции (а) и собственной окраске (б)

Fig. 5. *PCA* plot for identification of the dilution of olive oil with sunflower oil by fluorescence (а) and intrinsic color (б)

финированные) и 3, 15, 16, 18 (рафинированные) располагаются в разных квадрантах (III и IV).

Хемометрический анализ аддитивного сигнала RGB позволяет провести дифференциацию анализируемого набора растительных масел на кластеры в соответствии с собственной окраской и цветом флуоресценции (рис. 4). Эти экспериментальные результаты могут быть полезными для химической экспертизы нескольких визуально и органолептически схожих образцов. Путем сравнения данных, полученных на основе двух разных цветометрических исследований (окраски и флуоресценции), испытатель способен делать вывод об идентичности или неидентичности объектов экспертизы без привлечения дорогостоящего и узкоспециализированного оборудования.

Предлагаемая методика с успехом может быть использована для выявления фальсификации путем разбавления дорогих сортов (видов) масел более дешевыми. В качестве примера на рис. 5 представлены графики *PCA* для идентификации разбавления оливкового масла подсол-

нечным по флуоресценции и собственной окраске образцов. При увеличении содержания подсолнечного масла в оливковом происходит изменение цветометрических и флуориметрических свойств продукта, что приводит к смещению положения образца на графике *PCA* (см. рис. 5). Обособленность образца 3 особенно заметна при оценке собственной окраски (см. рис. 5, б) и свидетельствует об отсутствии в нем оливкового масла. Установить содержание фальсифицирующей добавки можно при изучении флуориметрических свойств образца (см. рис. 5, а): зависимость является визуально прослеживаемой и наглядной. По характеру расположения образцов 10 и 15 на графике можно сделать однозначное заключение о содержании в них оливкового масла, что согласуется с информацией производителя на этикетке.

Установлено, что зависимость компоненты F1 от соотношения оливкового и подсолнечного масел носит линейный характер (рис. 6). Использование таких градуировочных зависимостей позволяет провести количественную

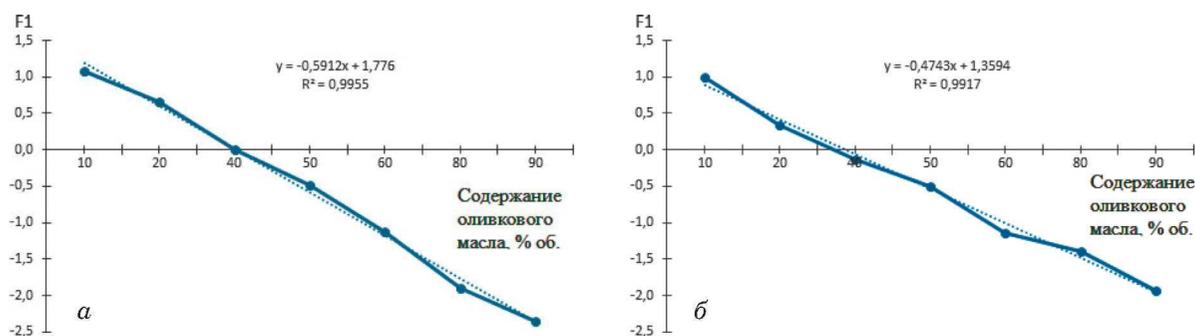


Рис. 6. Зависимость главной компоненты F1 от содержания оливкового масла в подсолнечном при измерении флуоресценции (а) и по собственной окраске (б)

Fig. 6. Dependence of the main component F1 on the content of olive oil in sunflower oil when measuring fluorescence (a) and by the own color (b)

оценку содержания оливкового масла в подсолнечном (и наоборот). Содержание оливкового масла в образцах 10 и 15 составило 35 и 38 % об. соответственно.

Заключение

В работе продемонстрированы возможности метода цифровой цветометрии с использованием смартфона для регистрации аналитического сигнала в сочетании с методами главных компонент и иерархического кластерного анализа в целях дифференцирования растительных масел по видовой принадлежности, региону происхождения и содержанию незаявленных компонентов при цветометрической оценке их собственной окраски и флуоресценции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yang Y., Ferro M. D., Cavaco I., Liang Y. Detection and identification of extra virgin olive oil adulteration by GC-MS combined with chemometrics / *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61. P. 36933702. DOI: 10.1021/jf4000538
2. Tomazzoni G., Meira M., Quintella C. M., et al. Identification of vegetable oil or biodiesel added to diesel using fluorescence spectroscopy and principal component analysis / *Am. Oil Chem. Soc.* 2014. Vol. 91. P. 215 – 227. DOI: 10.1007/s11746-013-2354-5
3. Al-Kahtani H. A., Ahmed M. A., Abou-Arab A. A., Hayat K. Identification of lard in vegetable oil binary mixtures and commercial food products by FTIR / *Qual. Assur. Saf. Crops Foods.* 2017. Vol. 9. N 1. P. 11 – 22. DOI: 10.3920/QAS2015.0692
4. Chen Y., Wang J., Xu Q., et al. Identification of edible-vegetable-oil types based on multi-kernel learning and multi-spectral fusion / *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 452. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/452/2/022054
5. ГОСТ 30623–2018. Масла растительные и продукты со смешанным составом жировой фазы. Метод обнаружения фальсификации. — М.: Стандартинформ, 2018. — 23 с.
6. Моногарова О. В., Осолок К. В., Аяри В. В. Цветометрия в химическом анализе / *Журн. аналит. химии.* 2018. Т. 73. № 11. С. 857 – 867. DOI: 10.1134/S0044450218110063
7. Иванов В. М., Кузнецова О. В. Химическая цветометрия: возможности метода, области применения и перспективы / *Успехи химии.* 2001. Т. 70. № 5. С. 411 – 428. DOI: 10.1070/RC2001v070n05ABEH000636
8. Амелин В. Г., Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С. Твердофазно-флуориметрическое определение тетрациклинов на целлюлозной бумаге и тонком слое силикагеля в лекарственных препаратах с использованием смартфона / *Хим.-фарм. журн.* 2021. Т. 55. № 3. С. 52 – 54. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-3-52-57
9. Амелин В. Г., Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С., Третьяков А. В. Цифровая цветометрия индикаторных тест-систем с использованием смартфона и хемометрического анализа при определении хинолонов в лекарственных препаратах / *Журн. прикл. спектроск.* 2022. Т. 89. № 1. С. 84 – 93. DOI: 10.47612/0514-7506-2022-89-1-84-93
10. Амелин В. Г., Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С. Использование смартфона в твердофазно-флуориметрическом определении некоторых нестероидных противовоспалительных средств в лекарственных препаратах / *Хим.-фарм. журн.* 2021. Т. 55. № 9. С. 54 – 60. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-9-54-60
11. Амелин В. Г., Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С. Сорбционно-флуориметрическое определение хинолонов в сточных и природных водах с использованием смартфона / *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2.* 2021. Т. 62. № 4. С. 371 – 379.
12. Амелин В. Г., Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С. Использование смартфона для определения тетрациклинов в воде и молоке по сенсibilизированной твердофазной флуоресценции европия на его гидроксиде / *Журн. аналит. химии.* 2021. Т. 76. № 10. С. 952 – 958. DOI: 10.31857/S0044450221080028
13. Calabria D., Mirasoli M., Guardigli M., et al. Paper-based smartphone chemosensor for reflectometric on-site total polyphenols quantification in olive oil / *Sens. Actuators, B.* 2020. Vol. 305. 127522. DOI: 10.1016/j.snb.2019.127522
14. Nikolova K., Perifanova-Nemska M., Georgieva P., Boyadjiev D. Identification of vegetable oil adulterants in sunflower oil through discriminant analysis of colorimetric parameters / *Bulgarian J. Agric. Sci.* 2013. Vol. 19. N 3. P. 508 – 512.
15. Christodouleas D., Fotakis C., Papadopoulos K., et al. Luminescent methods in the analysis of untreated edible oils: A review / *Anal. Lett.* 2012. Vol. 45. N. 5 – 6. P. 625 – 641. DOI: 10.1080/00032719.2011.649461
16. Song W., Nanfeng J., Wang H. Use of smartphone videos and pattern recognition for food authentication / *Sens. Actuators, B.* 2019. Vol. 304. 127247. DOI: 10.1016/j.snb.2019.127247
17. De Melo Milanez K. D. T., Pontes M. J. C. Classification of extra virgin olive oil and verification of adulteration using digital image and discriminant analysis / *Anal. Methods.* 2015. Vol. 7. P. 8839 – 8846. DOI: 10.1039/C5AY01765C
18. Karagiorgos N., Nenadis N., Trypidis D., et al. An approach for estimating adulteration of virgin olive oil with soybean oil using image analysis / *Proc. of 2017 6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST).* DOI: 10.1109/mocast.2017.7937672

19. **Milanez K. D. T. D. M., Pontes M. J. C.** Classification of edible vegetable oil using digital image and pattern recognition techniques / *Microchem. J.* 2014. Vol. 113. P. 10 – 16. DOI: 10.1016/j.microc.2013.10.011
20. **Перегончая О. В., Королькова Н. В., Нуридинов Ш. З., Соколова С. А.** Перспективы использования цифровой цветометрии в контроле цветности растительных масел при их рафинации / *Агропромышленные технологии Центральной России.* 2019. Вып. 4. № 14. С. 29 – 38.

REFERENCES

1. **Yang Y., Ferro M. D., Cavaco I., Liang Y.** Detection and identification of extra virgin olive oil adulteration by GC-MS combined with chemometrics / *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61. P. 36933702. DOI: 10.1021/jf4000538
2. **Tomazzoni G., Meira M., Quintella C. M., et al.** Identification of vegetable oil or biodiesel added to diesel using fluorescence spectroscopy and principal component analysis / *Am. Oil Chem. Soc.* 2014. Vol. 91. P. 215 – 227. DOI: 10.1007/s11746-013-2354-5
3. **Al-Kahtani H. A., Ahmed M. A., Abou-Arab A. A., Hayat K.** Identification of lard in vegetable oil binary mixtures and commercial food products by FTIR / *Qual. Assur. Saf. Crops Foods.* 2017. Vol. 9. N 1. P. 11 – 22. DOI: 10.3920/QAS2015.0692
4. **Chen Y., Wang J., Xu Q., et al.** Identification of edible-vegetable-oil types based on multi-kernel learning and multi-spectral fusion / *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 452. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/452/2/022054
5. GOST 30623–98. Vegetable oils and blended fat products. Falsification detection method. — Moscow: Standartinform, 2018. — 23 p. [in Russian].
6. **Monogarova O. V., Oskolok K. V., Apyari V. V.** Colorimetry in chemical analysis / *J. Anal. Chem.* 2018. Vol. 73. N 11. P. 1076 – 1084. DOI: 10.1134/S10619348i10060
7. **Ivanov V. M., Kuznetsova O. V.** Chemical chromaticity: potential of the method, application areas and future prospects / *Russ. Chem. Rev.* 2001. Vol. 70. N 5. P. 357 – 372. DOI: 10.1070/RC2001v070n05ABEH000636
8. **Amelin V. G., Shaoka Z. A. Ch., Bol'shakov D. S.** Solid-phase fluorimetric determination of tetracyclines on cellulose paper and a thin layer of silica gel in drugs using a smartphone / *Khim.-Farm. Zh.* 2021. Vol. 55. N 3. P. 52 – 54 [in Russian]. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-3-52-57
9. **Amelin V. G., Shaoka Z. A. Ch., Bol'shakov D. S., Tret'yakov A. V.** Digital colorimetry of indicator test systems using a smartphone and chemometric analysis in the determination of quinolones in drugs / *Zh. Prikl. Spektrosk.* 2022. Vol. 89. N 1. P. 84 – 93 [in Russian]. DOI: 10.47612/0514-7506-2022-89-1-84-93
10. **Amelin V. G., Shaoka Z. A. Ch., Bol'shakov D. S.** The use of a smartphone in the solid phase fluorimetric determination of some non-steroidal anti-inflammatory drugs in drugs / *Khim.-Farm. Zh.* 2021. Vol. 55. N 9. P. 54 – 60 [in Russian]. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-9-54-60
11. **Amelin V. G., Shaoka Z. A. Ch., Bol'shakov D. S.** Sorption-fluorimetric determination of quinolones in waste and natural waters using a smartphone / *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 2.* 2021. Vol. 62. N 4. P. 371 – 379 [in Russian].
12. **Amelin V. G., Shaoka Z. A. Ch., Bol'shakov D. S.** Using a smartphone for determining tetracyclines in water and milk by the sensitized solid state fluorescence of europium on its hydroxide / *J. Anal. Chem.* 2021. Vol. 76. N 10. P. 1211 – 1216. DOI: 10.1134/S10611934821080025
13. **Calabria D., Mirasoli M., Guardigli M., et al.** Paper-based smartphone chemosensor for reflectometric on-site total polyphenols quantification in olive oil / *Sens. Actuators, B.* 2020. Vol. 305. 127522. DOI: 10.1016/j.snb.2019.127522
14. **Nikolova K., Perifanova-Nemska M., Georgieva P., Boyadjiev D.** Identification of vegetable oil adulterants in sunflower oil through discriminant analysis of colorimetric parameters / *Bulgarian J. Agric. Sci.* 2013. Vol. 19. N 3. P. 508 – 512.
15. **Christodouleas D., Fotakis C., Papadopoulos K., et al.** Luminescent methods in the analysis of untreated edible oils: A review / *Anal. Lett.* 2012. Vol. 45. N 5 – 6. P. 625 – 641. DOI: 10.1080/00032719.2011.649461
16. **Song W., Nanfeng J., Wang H.** Use of smartphone videos and pattern recognition for food authentication / *Sens. Actuators, B.* 2019. Vol. 304. 127247. DOI: 10.1016/j.snb.2019.127247
17. **De Melo Milanez K. D. T., Pontes M. J. C.** Classification of extra virgin olive oil and verification of adulteration using digital image and discriminant analysis / *Anal. Methods.* 2015. Vol. 7. P. 8839 – 8846. DOI: 10.1039/C5AY01765C
18. **Karagiorgos N., Nenadis N., Trypidis D., et al.** An approach for estimating adulteration of virgin olive oil with soybean oil using image analysis / *Proc. of 2017 6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST).* DOI: 10.1109/mocast.2017.7937672
19. **Milanez K. D. T. D. M., Pontes M. J. C.** Classification of edible vegetable oil using digital image and pattern recognition techniques / *Microchem. J.* 2014. Vol. 113. P. 10 – 16. DOI: 10.1016/j.microc.2013.10.011
20. **Peregonychaya O. V., Korol'kova N. V., Nuridinov Sh. Z., Sokolova S. A.** Prospects for the use of digital colorimetry in the control of the color of vegetable oils during their refining / *Agroprom. Tekhnol. Tsentr. Rossii.* 2019. Vol. 4. N 14. P. 29 – 38 [in Russian].