



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544.615

doi: 10.17308/sorpchrom.2025.25/12799

Определение содержания токоферолов в режиме обращенно-фазовой хроматографии в растительных продуктах с высоким содержанием белка

Виолета Мироновна Ле^{1✉}, Александр Юрьевич Просеков¹,

Олег Витальевич Шарыкин², Андрей Сергеевич Сухих¹

¹Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия, ya808@yandex.ru[✉]

²ООО «НПХ Амарант-Агро», Москва, Россия

Аннотация. Токоферолы являются одним из важнейших биологически активным компонентом в составе пищи, которые повышают защитные функции организма. Они рассматриваются во всем мире как эффективные антиоксиданты в пищевой промышленности. Цель – исследовать возможность tandemного применения диодноматричного и флуориметрического детекторов при анализе содержания витамина Е (альфа токоферола) в растительных объектах с высоким содержанием белка. Объектами исследования выбраны зерновые культуры с высоким содержанием белка: мука ржаная, мука пшеничная цельнозерновая, мука амаранта и зерно киноа. Исследование проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence с последовательно соединенными детекторами, диодноматричным и флуориметрическим. Идентификацию токоферолов на диодноматричном детекторе проводили с опорной длиной волны 292 нм. На флуориметрическом детекторе использовали длину волны возбуждения 295 нм и длину волны эмиссии – 330 нм. Количественный анализ исследуемых образцов был проведен с использованием метода внешнего стандарта. Показана возможность применения обращенно-фазового варианта высокоэффективной жидкостной хроматографии для анализа токоферолов в высокобелковых образцах растительного происхождения. Применение tandemного варианта детектирования с использованием флуориметрического и диодноматричного детекторов повышает информативность хроматографического анализа.

Ключевые слова: витамин Е, токоферолы, ВЭЖХ, растительные образцы, флуориметрический детектор.

Для цитирования: Ле В.М., Просеков А.Ю., Шарыкин О.В., Сухих А.С. Определение содержания токоферолов в режиме обращенно-фазовой хроматографии в растительных продуктах с высоким содержанием белка // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2025. Т. 25, № 1. С. 111-121. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12799>

Original article

Determination of the content of tocopherols in the mode of reversed-phase chromatography in plant products with a high protein content

Violeta M. Le^{1✉}, Aleksandr Yu. Prosekov¹,

Oleg V. Sharykin², Andrey S. Sukhikh¹

¹Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, ya808@yandex.ru[✉]

²LLC «NPH Amarant-Agro Limited Liability Company», Moscow, Russian Federation

Abstract. Tocopherols are one of the most important biologically active components in the composition of food, which enhance the protective functions of the body. They are considered worldwide as effective antioxidants in the food industry. The aim is to investigate the possibility of tandem use of single-matrix and fluorimetric detectors in the analysis of vitamin E (alpha tocopherol) content in plant objects. The objects of the



study are cereals with a high protein content: rye flour, whole wheat flour, amaranth flour and quinoa grain. The study was performed on a Shimadzu LC-20 Prominence liquid chromatograph with series-connected detectors, diode-matrix and fluorimetric. Identification of tocopherols on a diode-matrix detector was carried out with a reference wavelength of 292 nm. An excitation wavelength of 295 nm and an emission wavelength of 330 nm were used on a fluorometric detector. The quantitative analysis of the studied samples was carried out using the method of an external standard. The possibility of using a reverse-phase variant of high-performance liquid chromatography for the analysis of tocopherols in high-protein samples of plant origin is shown. The use of tandem detection using fluorimetric and diode-matrix detectors increases the informative value of chromatographic analysis.

Keywords: vitamin E, tocopherols, HPLC, plant samples, fluorimetric detector.

For citation: Le V.M., Prosekov A.Yu., Sharykin O.V., Sukhikh A.S. Determination of the content of tocopherols in the mode of reversed-phase chromatography in plant products with a high protein content. *Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy. 2025. 25(1): 111-121. (In Russ.).* <https://doi.org/10.17308/sorp-chrom.2025.25/12799>

Введение

Витамин Е является одним из важнейших биологически активных компонентов в составе пищи, способствует поддержанию гомеостаза организма человека [1]. Под аббревиатурой витамин Е, объединены восемь известных и близких по химической структуре и биологической активности токоферолов [2]. Токоферолы во всем мире рассматриваются как эффективные антиоксиданты для медицинского применения, а также в пищевой и фармацевтической промышленностях [3, 4]. Хорошо известно, что эти физиологически активные вещества обладают огромным потенциалом биологического действия. Токоферолы способствуют стабилизации клеточных мембран, препятствуют тромбообразованию, принимают участие в синтезе гема- и гормоноподобных веществ. Токоферолы способствуют нормальному функционированию мускулатуры, включая сердечную мышцу. Участвуя в биохимических процессах, токоферолы способствуют усвоению белков и липидов, способствует процессу тканевого дыхания, влияют на работу нервной системы, кроветворения [4]. Липофильные свойства токоферолов способствует их аккумуляции в организме, что при некоторых условиях может привести к побочным эффектам.

Токоферолы активно используются в качестве вспомогательных веществ при производстве лекарственных препаратов

[5]. Одним из современных трендов является обогащение пищи компонентами растительного происхождения [6, 7]. С другой стороны, растительные объекты с высоким содержанием белка находят широкое применение как самостоятельные пищевые продукты и продукты функциональной направленности [8-10]. Человек получает витамин Е (токоферолы) только из пищи. Большое количество его содержится в растительных объектах и их компонентах: маслах, орехах, семенах и т.д. [11].

В настоящее время наметилось активное использование растительного сырья, и, в частности, зерновых культур с высоким содержанием белка и токоферолов, включая токотриенолы [12]. В этой связи, актуальным остается повышение информативности инструментальных методов физико-химического анализа применительно к сложным многокомпонентным объектам растительного происхождения продуктов их переработки, содержащих токоферолы.

В настоящее время, разработано значительное число аналитических методов определения витамина Е: титrimетрический, электрохимический, методы ядерно-магнитного резонанса, оптические [13] обладающие аналитическими преимуществами и определенными ограничениями. Значительной вариативностью отличаются методы хроматографического анализа (ТСХ, ВЭЖХ, ГХ) включая пробоподготовку, что заслуживает



особого внимания [14-17]. Являясь антиоксидантами, токоферолы рассматриваются как показатели доброкачественности и нативности образца [18]. Приоритетным направлением становится хроматографический анализ содержания нативных и окисленных токоферолов в образцах по принципу хроматографического «отпечатки пальцев», позволяя рассматривать профиль токоферола для идентификации образца и его качественных характеристик [20-22]. Такие принципы активно исследуются для различных масличных растений и продуктов их переработки [19, 23]. В методах анализа растительных масел токоферол выполняет роль одного из реперного компонента, позволяя выявлять фальсификаты [24]. На сегодняшний день на территории Российской Федерации действуют два межгосударственных стандарта для определения витамина Е (токоферолов): ГОСТ EN 12822-2014 распространяется на всю пищевую продукцию, в том числе молочные продукты, валидация метода проведена по маргарину и сухому молоку; ГОСТ ISO 20633-2018 для узкой категории специализированной пищевой продукции, который использует нормальнофазовую ВЭЖХ.

Разработаны способы изучения и анализа токоферолов в режимах нормально-и обращенно-фазовой ВЭЖХ [25, 26]. Следует отметить, что обращенно-фазовый вариант ВЭЖХ с tandemным применением диодноматричного и флуориметрического детекторов при исследовании многокомпонентных анализаторов обладает определенными преимуществами [27]. В тоже время, практически не исследованы аналитические возможности определения токоферолов с применением диодноматричного и флуориметрического детекторов в режиме обращено-фазовой ВЭЖХ для анализа токоферолов в высокобелковых продуктах. Цель работы: исследование возможности tandemного применения диодноматричного и флуориметри-

ческого детекторов при анализе содержания витамина Е (альфа токоферола) в растительных объектах с высоким содержанием белка. Метод ВЭЖХ хроматографии с диодноматричным детектированием или с флуориметрическим видится как более чувствительный, доступный, простой и в тоже время универсальный метод определения витамина Е (токоферолов) в продуктах растительного и животного происхождения.

Экспериментальная часть

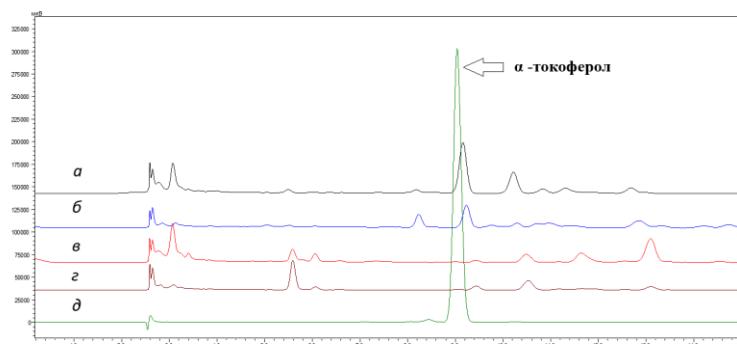
Объектами исследования выбраны зерновые культуры с высоким содержанием белка: мука ржаная, мука пшеничная цельнозерновая, мука амаранта и зерно киноа.

Растворители, реагенты и стандартные образцы. Работу осуществляли с использованием ацетонитрила (квалификации «for HPLC gradient / UHPLC supergradient grade, ACS», cas № 75-05-8 PanReac). Идентификацию токоферолов проводили по альфа-токоферолу Sigma-Aldrich (CAS 10191-41-0) и α -токоферола ацетату (Zentiva, Словакская Республика).

Оборудование. Исследование проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence (Япония), оборудованного насосами высокого давления, которые обеспечивают возможность разделения как в изократическом, так и в градиентном режимах. Детектирование проводилось с помощью диодноматричного детектора SPD20MA, флуориметрического детектора RF-20Axs.

Хроматографическое определение токоферолов в образцах. Разделение токоферолов проводили на колонке Gemini C-18 250x4.6мм (Phenomenex, США) в режиме изократического элюирования (помощь движущая фаза А – ацетонитрил), температура термостата колонки 55°C; скорость потока помочь движущей фазы – 1.2 см³/мин; объем вводимой пробы – 0.02 см³.

Идентификацию токоферолов проводили последовательно на диодноматричном детекторе с опорной длиной волны



а – хроматограмма экстракта зерна киноа; б – хроматограмма экстракта муки амаранта высокобелковой; в – хроматограмма экстракта муки ржаной; г – хроматограмма экстракта муки пшеничной; д – хроматограмма стандарта альфа-токоферола

Рис. 1. Сравнение выхода альфа-токоферола относительно стандарта в условиях ОФ ВЭЖХ по диодноматричному детектору

Fig.1. Comparison of alpha-tocopherol yield relative to the standard under reverse-phase HPLC using a diode matrix detector

292 нм. На флуориметрическом детекторе использовали длину волны возбуждения 295 нм и длину волны эмиссии – 330 нм. Количественный анализ исследуемых образцов был проведен с использованием метода внешнего стандарта. Пики токоферолов на хроматограмме исследуемого образца определяли по совпадению значений времени удерживания со значениями времени удерживания пика альфа-токоферола, использованного в качестве свидетеля-стандарта.

Экстракция токоферолов. (5.000 ± 0.001) г анализируемой пробы помещали в коническую колбу вместимостью 250 см³, снабжённую обратным холодильником. Добавляли антиоксидант (0.1 г гидрохинона), 50 см³ водно-спиртового раствора щёлочи и подвергали омылению на водяной бане при температуре 82–85°C в течение 30 мин. По окончании омыления колбу охлаждали до комнатной температуры, добавляли 50 см³ дистиллированной воды и 50 см³ гексана, смесь тщательно перемешивали и давали отстояться. После расслаивания смеси гексановый слой осторожно сливали в делительную воронку вместимостью 500 см³. Экстракцию гексаном повторяли дважды порциями по 50 см³, последнюю фракцию переносили в делительную воронку,

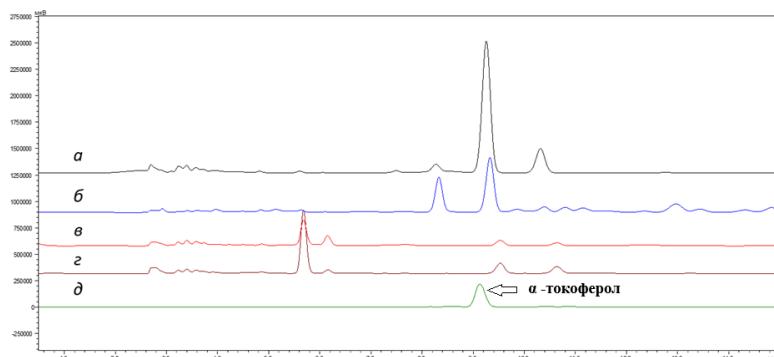
сливая содержимое колбы через воронку с марлевым слоем. Содержимое делительной воронки промывали дистиллированной водой порциями по 50 см³ до нейтральной реакции среды (по индикаторной бумаге). Промытый экстракт переносили в сухую перегонную колбу, пропуская его через обеззоленный фильтр, заполненный безводным сульфатом натрия (около 50 г).

Делительную воронку и фильтр промывали 50 см³ гексана. Отгоняли гексан на ротационном испарителе при температуре бани 70°C. Маслянистый остаток растворяли в 3 см³ подвижной фазы, которую добавляли порциями, чтобы перенести в предварительно откалиброванную пробирку с притёртой пробкой. Полученный экстракт подвергали хроматографическому анализу.

Обсуждение результатов

Сопоставлены два варианта хроматографического метода анализа: с использованием диодноматричного детектора (рис.1) и флуориметрического детектора (рис.2), которые позволили исследовать содержание биологически активных веществ липофильного класса (витамин Е (токоферолы)) (таблица 1).

Определение пригодности метода ВЭЖХ как чувствительного, доступного,



а – хроматограмма экстракта зерна киноа, б – хроматограмма экстракта муки амаранта высокобелковой, в – хроматограмма экстракта муки ржаной, г – хроматограмма экстракта муки пшеничной, д – хроматограмма стандарта альфа-токоферола

Рис.2. Сравнение выхода альфа токоферола относительно стандарта в условиях ОФ ВЭЖХ по флуориметрическому детектору

Fig. 2. Comparison of alpha-tocopherol yield relative to the standard in reverse-phase HPLC using a fluorimetric detector

Таблица 1. Количественное содержание витамина Е (альфа-токоферола) в исследуемых образцах

Table 1. Quantitative content of vitamin E (alpha-tocopherol) in the studied samples

Наименование образца	Витамина Е (мг /1г образца)*
Зерно киноа	4.8140±0.0020
Мука амаранта высокобелковая	2.7840±0.0005
Мука ржаная	1.1660±0.0010
Мука пшеничная цельнозерновая	1.8630±0.0024

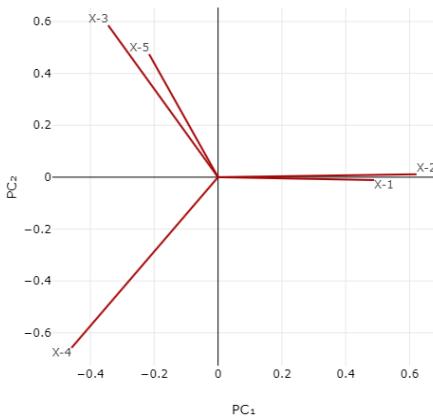
*В пересчете на стандарт-свидетель альфа-токоферола

простого и в тоже время универсального метода определения витамина Е (токоферолов) в продуктах растительного и животного происхождения устанавливали по времени удерживания пика и спектральным характеристикам в УФ области пика.

В свою очередь, использование детектирующих устройств, позволяющих фиксировать целевой анализ, также может не ограничиваться строгой селективностью (применительно к флуориметрическому детектору). Ограничивающим фактором применения соответствующего детектора будет являться количественное содержание токоферолов в анализируемом образце. Однако, понимая диапазон возможных концентраций целевого компонента в анализируемом образце, можно повысить информативность анализа, как вариант используя особенности пробоподготовки с концентрированием извлечения из пробы.

Тандемный вариант подключения диодноматричного и флуориметрического детекторов способствует повышению информативности ВЭЖХ анализа. При установлении критического значения аналитического сигнала аналита в условиях диодноматричного и флуориметрического детекторов возможно влияние матричного эффекта. Такие особенности, связанные с влиянием присутствующих компонентов, их структурными особенностями, влияющими на хроматографическое время удерживания и величину аналитического сигнала, требуют детального рассмотрения и математической обработки.

Вместе с этим, каждый из рассматриваемых образцов зерна, являясь достаточно близким по структурно-морфологическому подобию, содержит уникальный набор реперных компонентов. В этой



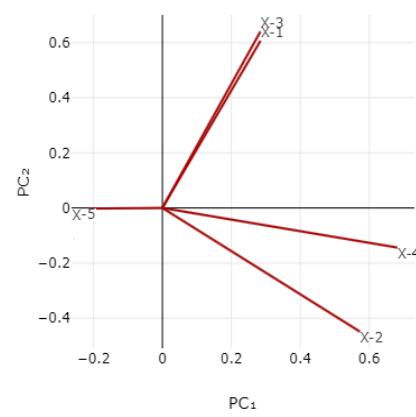
X1 – зерно киноа, X2 – мука амаранта высокобелковая, X3 – мука ржаная, X4 – мука пшеничная, X5 – альфа-токоферола ацетат

Рис. 3. Вектор распределения аналитического сигнала образцов по данным флуориметрического детектора
Fig.3. The distribution vector of the analytical signal of the samples according to the data of the fluorimetric detector

связи при анализе образцов растительного происхождения, содержащих различные классы органических соединений, оправдано применение диодноматричного детектора. Вместе с тем, полученные спектральные и хроматографические данные для обработки и сопоставления результатов требуют привлечения математических методов.

В данной работе для математической обработки и сопоставления результатов был применен метод главных компонент, используемый при анализе объектов растительного происхождения [9, 10]. Использование данного метода позволяет дифференцировать токоферолы, обладающие индивидуальными спектральными характеристиками.

Анализ главных компонентов (АГК) позволил визуализировать и уменьшить размер набора данных. Графические иллюстрации показывают (рис. 3), что спектрально активные соединения муки ржаной в условиях флуориметрического детектирования лежат в области, приближенной к стандарту α -токоферола. В свою очередь, флуориметрическое детек-

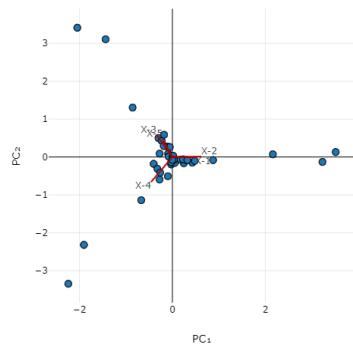


X1 – зерно киноа, X2 – мука амаранта высокобелковая, X3 – мука ржаная, X4 – мука пшеничная, X5 – альфа-токоферола

Рис. 4. Вектор распределения аналитического сигнала образцов по данным диодноматричного детектора
Fig.4. The distribution vector of the analytical signal of the samples according to the data of the diode matrix detector

тирование отражает достаточную подобность по области векторов для образцов киноа и муки амаранта высокобелковой. Обособленно распределились показатели для муки пшеничной высокобелковой. В условиях диодноматричного детектирования (рис. 4), области векторов распределились близкими спецификациями для образцов киноа и муки ржаной, а мука амаранта высокобелковая и мука пшеничная цельнозерновая оказались в близких областях графика.

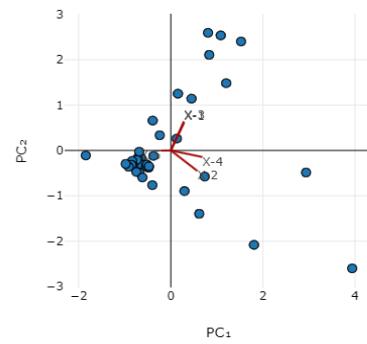
Сравнивая дисперсию в условиях диодноматричного (рис. 6) и флуориметрического детектирования (рис. 5), следует отметить несколько меньшие значения для последнего. В данном случае, эти показатели закономерны и связаны с наличием специфического свойства детектируемых компонентов – флуоресценции (в рассматриваемых параметрах возбуждения и эмиссии). В свою очередь использование диодноматричного детектора позволяет отслеживать наличие ключевых токоферолов, а также иных (спектрально активных) соединений, присутствующих в образце.



X1 – зерно киноа, X2 – мука амаранта высокобелковая, X3 – мука ржаная, X4 – мука пшеничная, X5 – стандарт альфа-токоферола

Рис. 5. Графические иллюстрации дисперсии, флуориметрический детектор

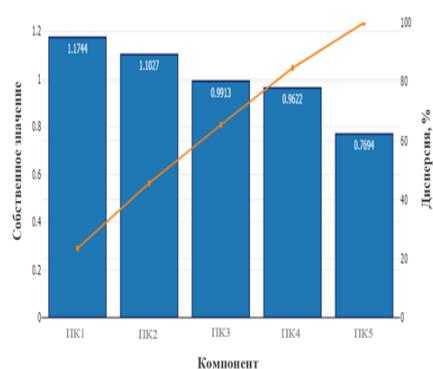
Fig.5. Graphical illustrations of dispersion, fluorimetric detector



X1 – зерно киноа, X2 – мука амаранта высокобелковая, X3 – мука ржаная, X4 – мука пшеничная, X5 – стандарт альфа-токоферола

Рис. 6. Графические иллюстрации дисперсии, диодноматричный детектор

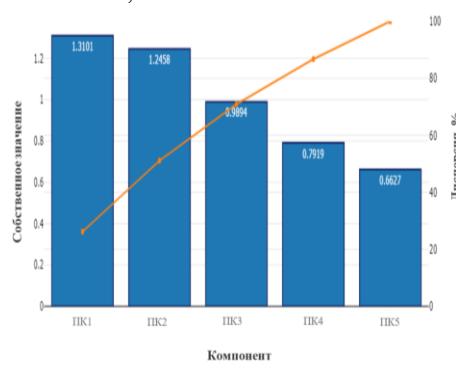
Fig.6. Graphical illustrations of dispersion, diode matrix detector



ПК1 – зерно киноа, ПК2 – мука амаранта высокобелковая, ПК3 – мука ржаная, ПК4 – мука пшеничная, ПК5 – стандарт альфа-токоферола

Рис. 7. График осьпи данных, флуориметрический детектор

Fig.7. Data scree graph, fluorimetric detector



ПК1 – зерно киноа, ПК2 – мука амаранта высокобелковая, ПК3 – мука ржаная, ПК4 – мука пшеничная, ПК5 – стандарт альфа-токоферола

Рис. 8. График осьпи данных, диодноматричный детектор

Fig.8. Data scree graph, diode matrix detector

Метод главных компонентов описательный и был выполнен с использованием SAS версии 9.1 в этом исследовании для определения приоритетности или оценки образцов, содержащих токоферолы. Как видно на графиках осьпи, первые четыре основных образца показали наилучшую кластеризацию с дисперсией в интервале 23.4876-19.2449% по флуориметрическому детектору (рис. 7, табл. 2), и в интервале 26.2027-15.8385% – по диодноматричному детектору (рис. 8, табл. 3).

Таким образом, в таблицах 4, 5 сосредоточены только собственные векторы X1, X2, X3, X4, X5. Чем больше собственный вектор, тем больше информации исходная переменная вносит в основной компонент. Собственные векторы в образцах (таблицы 4-5) указывают на то, что определение может быть использовано для контроля по показателю токоферол как с использованием флуориметрического, так и диодноматричного детекторов.



Таблица 2. Таблица данных осыпи (флуориметрический детектор)

Table 2. Scree data table (fluorimetric detector)

Параметр	ПК ₁	ПК ₂	ПК ₃	ПК ₄	ПК ₅
Собственное значение	1.1744	1.1027	0.9913	0.9622	0.7694
% дисперсии	23.4876	22.0543	19.8258	19.2449	15.3873
Накопленный (%)	23.4876	45.5419	65.3677	84.6127	100.0000

Таблица 3. Таблица данных осыпи (диодноматричный детектор)

Table 3. Scree data table (diode matrix detector)

Параметр	ПК ₁	ПК ₂	ПК ₃	ПК ₄	ПК ₅
Собственное значение	1.3101	1.2458	0.9894	0.7919	0.6627
% дисперсии	26.2027	24.9153	19.7887	15.8385	13.2549
Накопленный (%)	26.2027	51.1180	70.9066	86.7451	100.0000

Таблица 4. Значения собственных векторов по данным флуориметрического детектора

Table 4. Values of the eigenvectors according to the fluorimetric detector data

X1	X2	X3	X4	X5
0.4887	-0.0112	0.5888	-0.5433	0.3453
0.6214	0.0112	-0.4289	0.416	0.5067
-0.3438	0.5851	-0.3752	-0.4403	0.4525
-0.4587	-0.6579	0.0596	0.04227	0.5928
-0.2156	0.4738	0.5701	0.5798	0.2605

Таблица 5. Значения собственных векторов по данным диодноматричного детектора

Table 5. Values of the eigenvectors according to the data of the diode matrix detector

X1	X2	X3	X4	X5
0.2846	0.6068	0.0269	0.7358	-0.0932
0.5728	-0.4488	0.0433	0.2287	0.6452
0.2843	0.6401	0.0603	-0.5896	0.3979
0.6814	-0.1438	0.2316	-0.2342	-0.6376
-0.2139	-0.0022	0.9696	0.0619	0.1013

Таблица 6. Матрицы корреляции факторов в пробах по результатам флуориметрического детектора

Table 6. Correlation matrices of factors in samples based on the results of a fluorimetric detector

Группа\Group	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5
X-1	1	0.02332	-0.07311	-0.08498	-0.03069
X-2	0.02332	1	-0.08394	-0.1202	-0.06023
X-3	-0.07311	-0.08394	1	-0.07302	0.02572
X-4	-0.08498	-0.1202	-0.07302	1	-0.05161
X-5	-0.03069	-0.06023	0.02572	-0.05161	1

Таблица 7. Матрицы корреляции факторов в пробах по результатам диодноматричного детектора

Table 7. Correlation matrices of factors in samples based on the results of a diode matrix detector

Группа\Group	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5
X-1	1	-0.03113	0.2233	0.05445	-0.02579
X-2	-0.03113	1	-0.07865	0.2867	-0.0632
X-3	0.2233	-0.07865	1	0.09413	-0.02583
X-4	0.05445	0.2867	0.09413	1	-0.0227

Исходя из матрицы корреляции факторов в пробах (таблица 6) для флуоримет-

ического детектора хорошо прослеживается корреляция стандарта токоферола



и образца муки амаранта высокобелковой. Данный фактор делает возможным определение токоферолов как реперных компонентов в амарантовой муке.

В свою очередь, детектор с диодной матрицей обладает рядом ключевых факторов: относительная экономическая доступность, простота в эксплуатации, возможность варьировать компоненты подвижных фаз. Перечисленные факторы делают детектор с диодной матрицей вос требованным в производственных и ведомственных лабораториях. Данное актуально при выполнении исследовательских работ. Тандемное использование двух детекторов способствует расширению информации об образце.

Заключение

Полученные результаты показали возможность применения обращенно-фазового варианта высокоеффективной жидкостной хроматографии для анализа токоферолов в высокобелковых образцах.

Список литературы/References

1. Tian H., Li Y.-F., Jiao G.-L., Sun W.-Y., He R.-R. Unveiling the antioxidant superiority of α -tocopherol: implications for vitamin e nomenclature and classification. *Free radical biology and medicine*, 2024; 216: 46-49. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.03.003>
2. Selemenev V.F., Rudakova L.V., Rudakov O.B., Bulanova N.A., Nazarova A.A. Phospholipids on the background of natural matrices. Voronezh, CPI "Scientific Book", 2020; 318 p.
3. Baldi A., Pinotti L. Lipophilic microconstituents of milk. *Bioactive components of milk*, 2008: 109-125. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4>
4. Jiang Q., Im S., Wagner J.G., Hernandez M.L., Peden D. B. Gamma-tocopherol, a major form of vitamin E in diets: Insights into antioxidant and anti-inflammatory effects, mechanisms, and roles in disease management. *Free Radical Biology and Medicine*, 2022; 178: 347-359.
5. Bayne A.-C.V., Pessi J., Bird J.K., Stemmler R.T., Frerichs M., Besheer A. Vitamins as excipients in pharmaceutical products. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2025; 206: 107020. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2025.107020>
6. Matthaus B., Özcan, M. M. Fatty acid and tocopherol contents of several soybean oils. *Natural Product Research*, 2014; 28(8): 589-592. <https://doi.org/10.1080/14786419.2013.803304>
7. Kurtys E., Eisel U.L.M., Verkuyl J.M., Broersen L.M., Dierckx R.A.J.O., de Vries E.F.J. The combination of vitamins and omega-3 fatty acids has an enhanced anti-inflammatory effect on microglia. *Neurochemistry International*, 2016; 99: 206-214. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2016.07.008>
8. Memon H.D., Mahesar S. A, Sirajuddin, Kara H., Sherazi S. T. H., Talpur M.Y. A review: Health benefits and physicochemical characteristics of blended vegetable oils.

Применение тандемного варианта детектирования с использованием флуориметрического и диодноматричного детекторов повышает информативность хроматографического анализа. Вместе с этим, использование диодноматричного детектирования для анализа токоферолов позволяет получать валидные качественные и количественные результаты. Предложенный вариант ВЭЖХ позволяет оценивать качественное и количественное содержание токофераов в продуктах переработки зерновых культур с целью определения их потребительских свойств.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.12.012>



Grain and Oil. Science and Technology, 2024; 7(2): 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.05.001>

9. Masiero J. F., Barbosa E. J., Macedo L. de O., Souza de A., Yukuyama M. N., Arantes G. J., Bou-Chakra N. A. Vegetable oils in pharmaceutical and cosmetic lipid-based nanocarriers preparations. *Industrial Crops and Products*, 2021; 170: 113838. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113838>

10. Voon P. T., Ng C.M., Ng Y. T., Wong Y. J., Yap S. Y., Leong S.L., Yong X. S., Lee S.W.H. Health Effects of Various Edible Vegetable Oil: An Umbrella Review. *Advances in Nutrition*, 2024; 15 (9): 100276. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100276>

11. Azzi A. Many tocopherols, one vitamin E. *Molecular Aspects of Medicine*, 2018; 61: 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2017.06.004>

12. Azzi A. Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenoins: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox Biology*, 2019; 26: 101259. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259>

13. Avrămia I., Oroian M.-A., Oiță R.-C. A review of current trends of vitamin identification and quantification by chromatography from food samples. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024; 131: 106244. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106244>

14. Pyka A. Analytical evaluation of visualizing reagents used to detect tocopherol and tocopherol acetate on thin layer. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2008; 32(2): 312-330. <https://doi.org/10.1080/10826070802603401>

15. Yu G., Pawar M. PEI-loaded SiO₂ as an adsorbent for separation of α -tocopherol from tocopherol homologues. *Monatsh Chem.*, 2023; 154: 65-70. <https://doi.org/10.1007/s00706-022-03001-y>

16. Lerma-García M.J., Vergara-Barberán M., Beneito-Cambra M., Simó-Alfonso E.F. Use of polymeric monolithic columns to determine tocopherol content in vegetable oils by capillary electrochromatography. Extraction, Characterization, and

Functional Assessment of Bioactive Compounds. Methods and Protocols in Food Science. *Humana*, 2024: 127-135. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3942-9_12

17. Aresta A., Zambonin C. Determination of α -tocopherol in olive oil by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Analytical Letters*, 2017; 50(10): 1580-1592. <https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1238922>

18. Asbbane, A., Bousaid, Z., Guillaume, D et al. Effects of physical refining process on quality and stability of argan oil (*Argania Spinosa* (L.) Skeels), *Scientific Reports*, 2024; 14: 23045. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74466-6>

19. Pastor K., Ilić M., Kojić, J., Ačanski M., Vujić, D. Classification of cereal flour by gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS) liposoluble fingerprints and automated machine learning. *Analytical Letters*. 2022; 55(14): 2220-2226. <https://doi.org/10.1080/00032719.2022.2050921>

20. Hoelscher, H., Fell, E.L., Colet, R. et al. Antioxidant activity of rosemary extract, acerola extract and a mixture of tocopherols in sausage during storage at 8 °C. *J Food Sci Technol*, 2024; 61: 69-83. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05815-y>

21. Barouh N, Bourlieu-Lacanal C, Figueroa-Espinoza MC, Durand E, Ville-neuve P. Tocopherols as antioxidants in lipid-based systems: The combination of chemical and physicochemical interactions determines their efficiency. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2022; 21(1): 642-688. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12867>

22. Lucci, P.; Bertoz, V.; Pacetti, D.; Moret, S.; Conte, L. Effect of the Refining Process on Total Hydroxytyrosol, Tyrosol, and Tocopherol Contents of Olive Oil. *Foods* 2020; 9: 292. <https://doi.org/10.3390/foods9030292>

23. Bianchi, F., Soini, E., Ciesa, F., Bortolotti, L., Guerra, W., Robatscher, P., & Oberhuber, M. L-ascorbic acid and α -tocopherol content in apple pulp: a comparison between 24 cultivars and annual variations during three harvest seasons. *International*



Journal of Food Properties. 2020; 23(1): 1624-1638. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1820515>

24. Tang X., Jiang Y., Guan J. et al. Characterization and discrimination of camellia oil varieties according to fatty acid, squalene, tocopherol, and volatile substance contents by chromatography and chemometrics. *Eur Food Res Technol.* 2024; 250: 151-165. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04373-z>

25. Sarvan I., Jürgensen A., Greiner M., Lindtner O. How long can you store vitamins? Stability of tocopherols and tocotrienol during different storage conditions in broccoli and blueberries. *Food Chemistry*:

X. 2024; 22: 101444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137909>

26 Czauderna M, Wojtak W, Bialek M, Bialek A. Optimization of high-efficient pre-column sample treatments and C18-UFLC method for selective quantification of selected chemical forms of tocopherol and tocotrienol in diverse foods. *Food Chem.* 2024; 30(437):137909. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137909>.

27 Xiangrui Li, Huan Lv, Wencan Luo, WenJia Yang, Linghong Kong, Qiujin Zhu, Lu Zeng Recent advances in detection techniques for vitamin analysis: A comprehensive review. *Food Chemistry*: X. 2025; 102226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.102226>

Информация об авторах / Information about the authors

В.М. Ле – к.х.н., научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

А.Ю. Просеков – д.т.н., д.б.н., профессор кафедры бионанотехнологии, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

О. В. Шарыкин – к. экон. н., председатель совета директоров ООО «НПК Амарант-Агро», г. Москва, Россия

А. С. Сухих – к. фарм. н., заведующий лабораторией физико-химических исследований фармакологически активных и природных соединений, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

V. M. Le – Candidate of Chemical Sciences, Researcher, Laboratory of biotesting of natural nutraceuticals, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, e-mail: ya808@yandex.ru

A.Y. Prosekov – Doctor of Technical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, e-mail: a.prosekov@inbox.ru

O. V. Sharykin – Candidate of Economic Sciences, Board Chairman, LLC “NPKh Amarant-Agro”, Moscow, Russian Federation, e-mail: o.v.sharykin@gmail.com

A. S. Sukhikh – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Head of the laboratory, Laboratory of "Physico-chemical research of pharmacologically active and natural compounds, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, e-mail: Suhih_as@list.ru

Статья поступила в редакцию 10.09.2024; одобрена после рецензирования 14.03.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted 10.09.2024; approved after reviewing 14.03.2025; accepted for publication 19.03.2025.