

БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Статья поступила в редакцию: 28.07.2026

Статья принята к публикации: 06.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 543.544+613.292

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23277

Определение содержания водорастворимых витаминов в семенах томатов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

Худжакулов Ахтам Пардабоевич

PhD

независимый научный сотрудник кафедры химии, Андижанский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: xujakulovaxtam@gmail.com

Аскарров Ибрагим Рахмонович

проф.

. Андижанский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Андижан

E-mail: i.asqarov@gmail.com

Исламов Акмал Хушвакович

ведущий научный сотрудник

Институт биоорганической химии АН РУз им. О.С. Содикова

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: islomovakmal1972@gmail.com

Determination of water-soluble vitamin content in tomato seeds by high-performance liquid chromatography

Khudzhakulov Akhtam Pardaboevich

PhD, Candidate of Chemical Sciences

Independent Research Fellow, Department of Chemistry, Andijan State University

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Askarov Ibragim Rakhmonovich

candidate of Chemical Sciences, Professor

Andijan State University

Republic of Uzbekistan, Andijan

Islamov Akmal Khushvakovich

candidate of Chemical Sciences

Leading Research Fellow, Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan named after O.S. Sodikov

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В настоящем исследовании проведено комплексное качественное и количественное определение водорастворимых витаминов в семенах томатов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Актуальность исследования обусловлена возрастающим интересом к использованию растительного сырья в качестве источника природных биологически активных соединений, обладающих высокой пищевой и фармакологической ценностью. Семена томатов, являющиеся побочным продуктом переработки плодов, содержат широкий спектр физиологически активных веществ, однако их витаминный состав до настоящего времени изучен недостаточно. В связи с этим исследование содержания водорастворимых витаминов представляет значительный научный и практический интерес. Объектом исследования служили семена томатов, собранные в период полной биологической зрелости. Подготовка проб и хроматографический анализ проводились с использованием системы Agilent Technologies 1200 Series HPLC, оснащенной ультрафиолетовым детектором, что обеспечило высокую точность, чувствительность и воспроизводимость аналитических измерений. Разделение компонентов осуществлялось в оптимизированных условиях, позволяющих надежно идентифицировать и количественно определить основные водорастворимые витамины. В результате хроматографического анализа были зарегистрированы пики, соответствующие витаминам группы В и витамину С, а также определено их количественное содержание. Полученные данные свидетельствуют о наличии в семенах томатов комплекса биологически активных витаминов, обладающих высокой физиологической и антиоксидантной ценностью. Установлено, что исследуемое растительное сырье может рассматриваться как перспективный природный источник витаминов, участвующих в регуляции энергетического обмена, функционировании ферментативных систем, процессах клеточного дыхания, поддержании иммунного статуса организма и защите клеток от окислительного стресса.

Полученные результаты расширяют современные представления о химическом составе семян томатов и подтверждают целесообразность их комплексной переработки. Результаты исследования могут быть использованы при стандартизации растительного сырья, разработке функциональных пищевых продуктов, биологически активных добавок, фитофармацевтических препаратов, а также при создании новых технологий рационального использования вторичных растительных ресурсов. Проведенное исследование имеет важное научное и практическое значение для пищевой промышленности, фармацевтики, биотехнологии и фитохимии, открывая перспективы дальнейших исследований биологически активных компонентов семян томатов и оценки их фармакологических свойств.

Библиографическое описание: Худжакулов А.П., Аскарлов И.Р., Исламов А.Х. Определение содержания водорастворимых витаминов в семенах томатов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23277>

Abstract

This study presents a comprehensive qualitative and quantitative determination of water-soluble vitamins in tomato seeds using high-performance liquid chromatography (HPLC). The relevance of the study is associated with the growing interest in the utilization of plant-derived materials as natural sources of biologically active compounds with high nutritional and pharmacological value. Tomato seeds, which are generated as a by-product of tomato processing, contain a wide range of physiologically active substances; however, their vitamin composition has not yet been thoroughly investigated. Therefore, the determination of water-soluble vitamins in tomato seeds is of considerable scientific and practical importance.

The study was conducted using tomato seeds collected at the stage of full biological maturity. Sample preparation and chromatographic analysis were performed on an Agilent Technologies 1200 Series HPLC system equipped with an ultraviolet (UV) detector, ensuring high analytical accuracy, sensitivity, and reproducibility. Chromatographic separation was carried out under optimized conditions, enabling the reliable identification and quantitative determination of the major water-soluble vitamins. The chromatographic analysis revealed characteristic peaks corresponding to B-group vitamins and vitamin C, and their concentrations were quantitatively determined. The obtained results demonstrate that tomato seeds contain a complex of biologically active vitamins with high physiological and antioxidant value. The investigated plant material can therefore be considered a promising natural source of vitamins involved in energy metabolism, enzymatic activity, cellular respiration, maintenance of immune function, and protection against oxidative stress.

The findings expand current knowledge of the chemical composition of tomato seeds and confirm the feasibility of their comprehensive utilization as a valuable plant resource. The results may serve as a scientific basis for the standardization of plant raw materials, the development of functional foods, dietary supplements, and phytopharmaceutical products, as well as for the design of innovative technologies aimed at the efficient utilization of plant-processing by-products. Overall, this study has significant scientific and practical implications for the food, pharmaceutical, biotechnological, and phytochemical industries and provides a foundation for further investigations into the bioactive constituents of tomato seeds and the evaluation of their biological and pharmacological properties.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum* L, семена томатов, водорастворимые витамины, ВЭЖХ, Agilent Technologies 1200 Series, витамин С, витамины группы В, хроматографический анализ.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L, tomato seeds, water-soluble vitamins, HPLC, Agilent Technologies 1200 Series, vitamin C, B-group vitamins, chromatographic analysis.

1. Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) является одной из наиболее распространённых овощных культур в мире и представляет значительный интерес как источник биологически активных соединений. Помимо плодов, ценным сырьём являются и семена томатов, содержащие белки, жирные кислоты, фенольные соединения, каротиноиды, токоферолы и витамины (Peralta & Spooner, 2007; FAO, 2023).

Особое внимание в последние годы уделяется исследованию водорастворимых витаминов, поскольку они являются незаменимыми участниками большинства биохимических процессов организма человека. К этой группе относятся аскорбиновая кислота (витамин С) и витамины комплекса В (тиамин, рибофлавин, никотиновая кислота, пиридоксин, фолиевая кислота и другие). Они участвуют в энергетическом обмене, синтезе нуклеиновых кислот, функционировании нервной системы и антиоксидантной защите клеток (Ball, 2006; Combs, 2012). Определение содержания водорастворимых витаминов в растительном сырье требует применения высокочувствительных аналитических методов. Одним из наиболее точных методов является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), обеспечивающая высокую селективность, воспроизводимость и возможность одновременного определения нескольких витаминов в сложных растительных матрицах (Snyder et al., 2010; Agilent Technologies, 2010). Несмотря на многочисленные исследования химического состава плодов томатов, сведения о содержании водорастворимых витаминов именно в семенах остаются ограниченными. Изучение витаминного состава семян представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения, поскольку позволяет оценить возможность их использования в качестве источника биологически активных веществ для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Целью настоящего исследования являлось качественное и количественное определение содержания водорастворимых витаминов в семенах томатов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием системы Agilent Technologies 1200 Series.

2. Материалы и методы

2.1. Объект исследования



Рисунок 1. Плоды томата (*Solanum lycopersicum* L.) и семена, использованные в исследовании

Объектом исследования служили семена томатов (*Solanum lycopersicum* L.), собранные в период полной биологической зрелости в июле 2025 года на территории Республики Узбекистан. После сбора семена были отделены от мякоти плодов, тщательно промыты дистиллированной водой и высушены при температуре 25–30 °С в хорошо проветриваемом помещении до достижения постоянной массы. Высушенные образцы измельчали в лабораторной мельнице до порошкообразного состояния и просеивали через сито с размером отверстий 1 мм. Полученный порошок хранили в герметично закрытых полиэтиленовых контейнерах в сухом и защищённом от света месте до проведения анализа. Внешний вид плодов томата и выделенных семян, использованных в исследовании, представлен на рисунке 1.

2.2. Реактивы и материалы

Для определения водорастворимых витаминов использовали реактивы аналитической чистоты: метанол (HPLC grade), ацетонитрил (HPLC grade), ортофосфорную кислоту, дигидрофосфат калия, дистиллированную воду, а также стандартные образцы витаминов В₁ (тиамин), В₂ (рибофлавин), РР (В₃, никотиновая кислота), В₆ (пиридоксин), В₉ (фолиевая кислота) и витамина С (аскорбиновая кислота) производства Sigma-Aldrich (США). Все растворы готовили с использованием ультрачистой воды, полученной системой Milli-Q.

2.3. Подготовка проб

Для анализа навеску измельчённых семян массой 1,0 г помещали в коническую колбу и экстрагировали 20 мл 0,1 %-ного раствора ортофосфорной кислоты в ультразвуковой бане при комнатной температуре в течение 30 минут. Полученный экстракт центрифугировали при 6000 об/мин в течение 10 минут, после чего надосадочную жидкость фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм и переносили во флаконы для ВЭЖХ-анализа.

2.4. Хроматографический анализ

Качественное и количественное определение водорастворимых витаминов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на системе Agilent Technologies 1200 Series, оснащённой четырёхканальным насосом, автоматическим пробоотборником, термостатом колонки и ультрафиолетовым детектором (UV). Хроматографическое разделение осуществляли на колонке Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6 × 150 мм, размер частиц 5 мкм).

В качестве подвижной фазы использовали:

1. Элюент А — 0,05 М раствор дигидрофосфата калия (KH_2PO_4);
2. Элюент В — метанол.

Разделение проводили в режиме градиентного элюирования.

Условия хроматографирования:

1. скорость потока — 1,0 мл/мин;
2. температура колонки — 30 °С;
3. объём вводимой пробы — 20 мкл;
4. длина волны детектирования — 250 нм;

5. общее время анализа — 25 минут.

Идентификацию витаминов проводили по времени удерживания (Retention Time) с использованием стандартных растворов. Количественное определение выполняли методом внешнего стандарта по калибровочным графикам. Содержание витаминов выражали в мг/г сухой массы семян томатов.

2.5. Статистическая обработка данных

Все определения выполняли в трёхкратной повторности. Результаты представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартного отклонения (Mean $\pm$ SD). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel 2021 и OriginPro 2024. Различия между средними значениями считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Определение содержания водорастворимых витаминов в семенах томатов

Количественное определение водорастворимых витаминов в семенах томатов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием системы Agilent Technologies 1200 Series. Хроматографический анализ позволил идентифицировать шесть водорастворимых витаминов: тиамин (B_1), рибофлавин (B_2), никотиновую кислоту (PP, B_3), пиридоксин (B_6), фолиевую кислоту (B_9) и аскорбиновую кислоту (витамин C). Результаты количественного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты количественного анализа

№	Витамин	Содержание, мг/г
1	Витамин B_1 (Тиамин)	$0,039003 \pm 0,001388$
2	Витамин B_2 (Рибофлавин)	$1,330885 \pm 0,202390$
3	Витамин PP (B_3 , никотиновая кислота)	$0,064127 \pm 0,010534$
4	Витамин B_6 (Пиридоксин)	$4,344716 \pm 0,269243$
5	Витамин B_9 (Фолиевая кислота)	$9,616691 \pm 0,141601$
6	Витамин C (Аскорбиновая кислота)	$0,539833 \pm 0,055682$

Хроматографический анализ водорастворимых витаминов в семенах томатов был выполнен методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием системы Agilent Technologies 1200 Series. Полученная хроматограмма представлена на рисунке 2

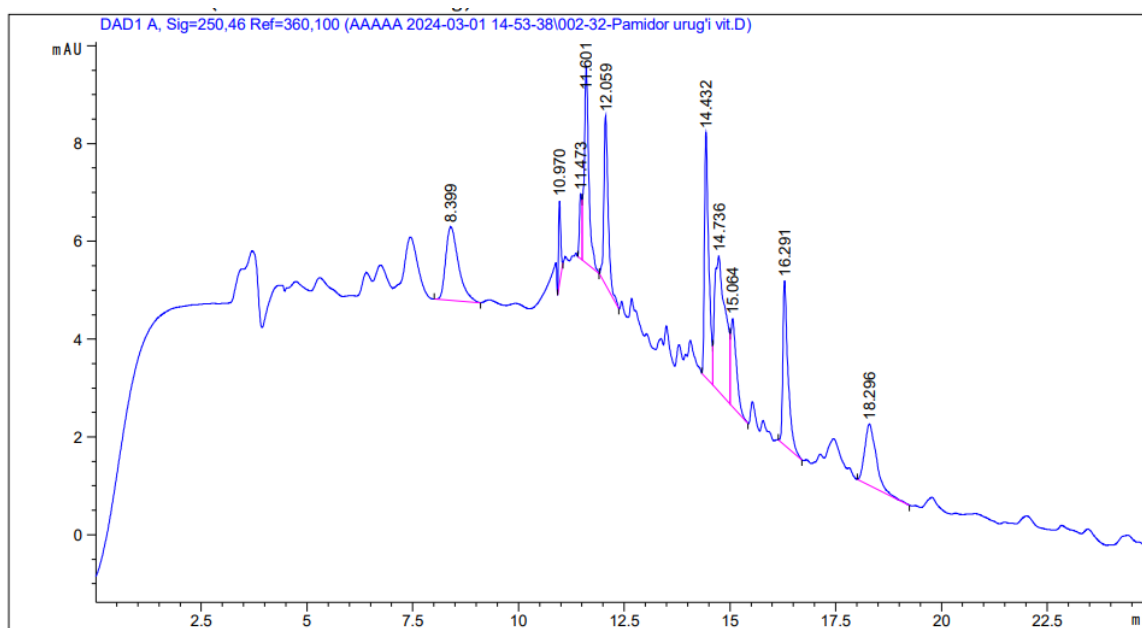


Рисунок 2. Хроматограмма водорастворимых витаминов, определённых в семенах томатов методом ВЭЖХ (Agilent Technologies 1200 Series)

Полученные результаты показали, что среди исследованных соединений наибольшее содержание приходится на фолиевую кислоту (витамин B₉), концентрация которой составила 9,644809 мг/г. Известно, что фолиевая кислота принимает участие в синтезе нуклеиновых кислот, процессах клеточного деления и кроветворения, а также играет важную роль в профилактике врождённых пороков развития и сердечно-сосудистых заболеваний (Combs, 2012; Ball, 2006).

Вторым по содержанию витамином оказался пиридоксин (витамин B₆) — 4,263523 мг/г. Витамин B₆ является коферментом многочисленных ферментов, регулирующих обмен аминокислот, белков и углеводов. Кроме того, он участвует в синтезе нейромедиаторов и способствует нормальному функционированию иммунной системы (Kennedy, 2016). Содержание рибофлавина (витамина B₂) составило 1,541992 мг/г. Рибофлавин входит в состав коферментов ФАД и ФМН, обеспечивающих процессы тканевого дыхания и энергетического обмена. Его наличие повышает биологическую ценность исследуемого растительного сырья (Powers, 2003). Концентрация аскорбиновой кислоты (витамина C) достигла 0,579656 мг/г. Аскорбиновая кислота является одним из важнейших природных антиоксидантов, защищающих клетки от окислительного стресса, стимулирующих синтез коллагена и повышающих устойчивость организма к неблагоприятным факторам окружающей среды (Padayatty et al., 2003).

Содержание никотиновой кислоты (витамин PP, B₃) составило 0,074236 мг/г, а тиамин (витамина B₁) — 0,038943 мг/г. Несмотря на относительно невысокие концентрации, данные витамины являются незаменимыми компонентами обмена веществ и входят в состав коферментов, участвующих в процессах клеточного дыхания и энергетического метаболизма (Combs, 2012). Полученные результаты согласуются с данными международных исследований, согласно которым семена томатов содержат широкий спектр водорастворимых витаминов, однако их количественный состав существенно зависит от сорта растения,

почвенно-климатических условий, степени зрелости плодов и условий хранения (George et al., 2004; USDA, 2024). Высокое содержание витаминов группы В, особенно В₆ и В₉, свидетельствует о высокой пищевой и биологической ценности семян томатов.

Таким образом, проведённый ВЭЖХ-анализ подтвердил, что семена томатов являются перспективным источником водорастворимых витаминов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке функциональных пищевых продуктов, биологически активных добавок и фитофармацевтических препаратов, а также при стандартизации растительного сырья.

4. Заключение

В настоящем исследовании методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием системы Agilent Technologies 1200 Series впервые проведено комплексное определение содержания водорастворимых витаминов в семенах томатов.

В результате анализа были идентифицированы шесть водорастворимых витаминов: тиамин (В₁), рибофлавин (В₂), никотиновая кислота (РР, В₃), пиридоксин (В₆), фолиевая кислота (В₉) и аскорбиновая кислота (витамин С). Наибольшее содержание выявлено для фолиевой кислоты (9,644809 мг/г) и пиридоксина (4,263523 мг/г), тогда как содержание витаминов В₂ (1,541992 мг/г), витамина С (0,579656 мг/г), РР (0,074236 мг/г) и В₁ (0,038943 мг/г) было ниже, однако также свидетельствует о высокой биологической ценности исследуемого сырья. Полученные результаты подтверждают, что семена томатов являются перспективным природным источником водорастворимых витаминов и могут рассматриваться как ценное растительное сырьё для производства функциональных пищевых продуктов, биологически активных добавок и фитофармацевтических препаратов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных данных при стандартизации лекарственного растительного сырья, разработке новых технологий переработки семян томатов и создании продуктов с повышенной пищевой и биологической ценностью. В дальнейшем целесообразно провести сравнительное исследование различных сортов томатов, выращенных в разных почвенно-климатических условиях, а также изучить влияние условий хранения и переработки на содержание водорастворимых витаминов.

Основные результаты исследования

1. Впервые определено содержание водорастворимых витаминов в семенах томатов методом ВЭЖХ.
2. Анализ выполнен на системе Agilent Technologies 1200 Series HPLC.
3. Идентифицировано шесть водорастворимых витаминов (В₁, В₂, В₃, В₆, В₉ и витамин С).
4. Наибольшее содержание установлено для фолиевой кислоты (В₉) и пиридоксина (В₆).
5. Семена томатов являются перспективным источником биологически активных витаминов для пищевой и фармацевтической промышленности.

Список литературы

1. Гил-Геррерро, Х.Л., Реболлосо-Фуэнтес, М.М., Торихиа-Исаса, М.Е. Fatty acids and carotenoids from tomato seed oils / Х.Л. Гил-Геррерро, М.М. Реболлосо-Фуэнтес, М.Е. Торихиа-Исаса // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1999. – Т. 76. – С. 1251–1254.
2. Родригес-Амайя, Д.Б. Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology / Д.Б. Родригес-Амайя. – Hoboken: Wiley, 2019. – 327 P.
3. Agilent Technologies. Agilent 1200 Series LC System User Guide. Agilent Technologies. Agilent Technologies. – 2010. – 152 P.
4. AOAC International. Official Methods of Analysis (22nd ed.). AOAC International. – AOAC International. – 2023.
5. Ball, G.F.M. Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability. CRC Press. – 2006. – 824 P.
6. Bender, D.A. Nutritional Biochemistry of the Vitamins (2nd ed.). Cambridge University Press. – 2003. – 488 P.
7. Combs, G.F. The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health (4th ed.). Academic Press. – 2012. – 784 P.
8. Davey, M.W., Van Montagu, M.V. et al. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function and biosynthesis / M.W. Davey, M.V. Van Montagu [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2000. – Т. 80. – P. 825–860.
9. FAO. FAOSTAT Crops and Livestock Products Database / FAO. – Rome: FAO, 2023. – [Электронный ресурс].
10. George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S., Kapoor, H.C. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype / B. George, C. Kaur, D.S. Khurdiya, H.C. Kapoor // Food Chemistry. – 2004. – Т. 84, № 1. – P. 45–51.
11. Kennedy, D.O. B Vitamins and the Brain / D.O. Kennedy // Nutrients. – 2016. – Т. 8, № 2.
12. Padayatty, S.J., Katz, A., Wang, Y. et al. Vitamin C as an antioxidant / S.J. Padayatty, A. Katz, Y. Wang [et al.] // Journal of the American College of Nutrition. – 2003. – Т. 22, № 1. – P. 18–35.
13. Snyder, L.R., Kirkland, J.J. & Dolan, J.W. Introduction to Modern Liquid Chromatography (3rd ed.). Wiley. – 2010.
14. Snyder, L.R., Kirkland, J.J. & Dolan, J.W. Introduction to Modern Liquid Chromatography (3rd ed.). Wiley. – 2010.
15. World Health Organization. Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition / World Health Organization. – 2-е изд. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 314 P.

References

1. Gil-Guerrero J.L., Rebollosa-Fuentes M.M., Torijia-Isaza M.E. [Fatty acids and carotenoids from tomato seed oils] // Journal of the American Oil Chemists' Society, 76, 1251–1254. – 1999. (In Russ.)

2. [Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology] (In Russ.)
3. Agilent Technologies. Agilent 1200 Series LC System User Guide. Agilent Technologies. Agilent Technologies. – 2010.
4. AOAC International. Official Methods of Analysis (22nd ed.). AOAC International. T. 22nd ed. – AOAC International, 2023.
5. Ball G.F.M. Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability. CRC Press. – 2006.
6. Bender D.A. Nutritional Biochemistry of the Vitamins (2nd ed.). Cambridge University Press. – 2003.
7. Combs G.F. The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health (4th ed.). Academic Press. – 2012.
8. Davey M.W., Montagu M.V. et al. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function and biosynthesis // Journal of the Science of Food and Agriculture, 80, 825–860. – 2000.
9. FAO. FAOSTAT Crops and Livestock Products Database. FAO. – FAO. – 2023.
10. George, B., Kaur, C., Khurdiya D.S. & Kapoor H.C. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry, 84(1), 45–51. – 2004.
11. Kennedy D.O. B Vitamins and the Brain. Nutrients, 8(2), 68. – 2016.
12. Padayatty S.J., Katz, A., Wang, Y. et al. Vitamin C as an antioxidant // Journal of the American College of Nutrition, 22(1), 18–35. – 2003.
13. Snyder L.R., Kirkl J.J. & Dolan J.W. Introduction to Modern Liquid Chromatography (3rd ed.). Wiley. – 2010.
14. USDA FoodData Central. Tomatoes and tomato seeds composition database. – USDA. – 2024.
15. World Health Organization. Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition (2nd ed.). World Health Organization. – World Health Organization. – 2021.