

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>  
<https://elibrary.ru/DRRMDA>

Оригинальная статья  
<https://fppt.ru>

## Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D



Е. Е. Бородина\*<sup>ORCID</sup>, О. В. Козлова<sup>ORCID</sup>, В. Ю. Богер<sup>ORCID</sup>,  
Л. А. Проскурякова<sup>ORCID</sup>, В. П. Юстратов<sup>ORCID</sup>

Кемеровский государственный университет<sup>ORCID</sup>, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 17.12.2024

Принята после рецензирования: 19.02.2025

Принята к публикации: 04.03.2025

\*Е. Е. Бородина: [kborodina1908@gmail.com](mailto:kborodina1908@gmail.com),  
<https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>

О. В. Козлова: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

В. Ю. Богер: <https://orcid.org/0000-0002-9280-6292>

Л. А. Проскурякова: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>

В. П. Юстратов: <https://orcid.org/0000-0002-1779-4332>

© Е. Е. Бородина, О. В. Козлова, В. Ю. Богер,  
Л. А. Проскурякова, В. П. Юстратов, 2025



### Аннотация.

Работа шахтеров, характеризующаяся длительным пребыванием в условиях ограниченного доступа к солнечному свету, приводит к высокому риску дефицита витамина D. Одновременно воздействие негативных факторов горнодобывающей промышленности существенно увеличивает вероятность развития различных заболеваний, таких как окислительный стресс, респираторные и воспалительные патологии. Богатые антиоксидантами листья пасленовых представляют собой перспективное средство профилактики заболеваний, компенсируя дефицит витамина D и противодействуя окислительному стрессу на клеточном уровне. Цель работы – исследовать компонентный состав листьев пасленовых растений (*Solanum lycopersicum* L., *S. tuberosum* L., *S. nigrum* L., *S. dulcamara* L.) для использования их в качестве источников обогащения продуктов питания антиоксидантами и витамином D.

Объектами исследования послужили высушенные листья томата (*S. lycopersicum*), картофеля (*S. tuberosum*), паслена черного (*S. nigrum*) и паслена сладко-горького (*S. dulcamara*). Для оценки антиоксидантной активности исследуемого сырья проводили комплексный анализ содержания флавоноидов, хлорофилла, каротиноидов и летучих органических соединений, а также применяли методы с использованием радикалов ABTS и DPPH. Исследование содержания витамина D проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Установлено, что в листьях томата, картофеля, паслена черного и сладко-горького содержалось большое количество определяемых веществ. Проведенные исследования с использованием двух групп радикалов – ABTS и DPPH также подтвердили высокую антиоксидантную активность листьев пасленовых растений. Наибольшее количество витамина D обнаружено в листьях картофеля (224,7 мкг/100 г) и паслена черного (22,8 мкг/100 г).

Исследование показало высокое содержание антиоксидантов и витамина D в листьях картофеля и паслена черного, что делает их перспективными источниками обогащения продуктов питания. Результаты анализов подтверждают значительный потенциал листьев пасленовых в улучшении здоровья шахтеров и снижении риска развития профессиональных заболеваний.

**Ключевые слова.** Антиоксидантная активность, витамин D, флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, летучие органические соединения, *Solanum*, томат, картофель, паслен

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-16-00113.

**Для цитирования:** Бородина Е. Е., Козлова О. В., Богер В. Ю., Проскурякова Л. А., Юстратов В. П. Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 197–213.  
<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>

## ***Solanaceae* Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D**



**Ekaterina E. Borodina\***<sup>ID</sup>, **Oksana V. Kozlova**<sup>ID</sup>,  
**Veronika Yu. Boger**<sup>ID</sup>, **Larisa A. Proskuryakova**<sup>ID</sup>,  
**Vladimir P. Yustratov**<sup>ID</sup>

Kemerovo State University<sup>ROR</sup>, Kemerovo, Russia

Received: 17.12.2024  
Revised: 19.02.2025  
Accepted: 04.03.2025

\*Ekaterina E. Borodina: [kborodina1908@gmail.com](mailto:kborodina1908@gmail.com),  
<https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>

Oksana V. Kozlova: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Veronika Yu. Boger: <https://orcid.org/0000-0002-9280-6292>

Larisa A. Proskuryakova: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>

Vladimir P. Yustratov: <https://orcid.org/0000-0002-1779-4332>

© E.E. Borodina, O.V. Kozlova, V.Yu. Boger, L.A. Proskuryakova,  
V.P. Yustratov, 2025



### **Abstract.**

Coal miners work underground, which means they are likely to be at greater risk of developing Vitamin D deficiency due to reduced sunlight exposure. Other industrial health risks may include oxidative stress, respiratory diseases, and inflammatory pathologies. Leaves of nightshade plants are rich in antioxidants, which means they can prevent mining-related diseases, compensate for vitamin D deficiency, and counteract oxidative stress at the cellular level. The article describes the component composition of the leaves of various *Solanaceae* plants to be used in functional foods fortified with antioxidants and vitamin D.

The research featured dried leaves of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), potato (*S. tuberosum* L.), black nightshade (*S. nigrum* L.), and bittersweet nightshade (*S. dulcamara* L.). The antioxidant studies involved a comprehensive analysis of flavonoids, chlorophyll, carotenoids, and volatile organic compounds using ABTS and DPPH radicals. The vitamin D content was studied by high performance liquid chromatography.

The leaves proved to be rich in flavonoids, chlorophyll, carotenoids, and volatile organic compounds. The high antioxidant potential was confirmed by ABTS and DPPH tests. The highest content of vitamin D belonged to potato leaves (224.7 µg/100 g) and black nightshade (22.8 µg/100 g), demonstrating good prospects for food fortification.

The high antioxidant content in the leaves of tomato, potato, black nightshade, and bittersweet nightshade makes them a promising raw material for the functional food industry. They may be able to improve the health of miners and prevent industrial diseases.

**Keywords.** Antioxidant activity, vitamin D, flavonoids, chlorophyll, carotenoids, volatile organic compounds, *Solanum*, tomato, potato, nightshade

**Funding.** This research was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 23-16-00113.

**For citation:** Borodina EE, Kozlova OV, Boger VYu, Proskuryakova LA, Yustratov VP. *Solanaceae* Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):197–213. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>

### **Введение**

Подземные горные работы составляют основу экономического развития Кемеровской области – Кузбасса. По официальным данным Кемеровостата, в сфере добычи угля по состоянию на 2023 г. работали более 96 тыс. человек, что составляло примерно 8 % от общей численности рабочих Кузбасса. В последнее десятилетие качество здоровья шахтеров Кемеровской области характеризуется негативными тенденциями: остро стоит проблема недостаточности витаминов и микронутриентов, а также отмечается рост связан-

ных с этим заболеваний. Профессиональная деятельность шахтеров связана с длительным отсутствием солнечного света, что повышает риск развития дефицита витамина D [1, 2]. Результаты исследования русского ученого Г. М. Пичхадзе показали, что, несмотря на достаточное потребление большинства необходимых питательных веществ в течение рабочего дня, согласно рекомендованным суточным нормам, у шахтеров наблюдался недостаток витамина D [3]. Данные российского исследователя О. А. Соболевой также подтверждают низкую концентрацию витамина D

в крови шахтеров [4]. Приведенные исследования обуславливают актуальность разработки новых продуктов питания, обогащенных витамином D.

Деятельность шахтеров сопряжена со множеством негативных факторов, приводящих к развитию различных заболеваний. Так, шахтеры подвержены воздействию вредных факторов окружающей среды, включая угольную пыль, которая образуется в результате угледобычи. Более 60 различных соединений (органические и неорганические, в частности соединения тяжелых металлов) являются компонентами угольной пыли. При вдыхании частицы пыли оседают в легких, взаимодействуют с клеточными механизмами, участвующими в поддержании баланса активных форм кислорода, повреждают основные макромолекулы (ДНК, белки, липиды и др.), тем самым приводя к окислительному стрессу в организме. В дальнейшем негативное воздействие вызывает ряд заболеваний (например, респираторные, сердечно-сосудистые и онкологические) [5–7]. Воздействие угольной пыли на организм человека провоцирует развитие респираторных заболеваний, включая классические пневмокониозы и силикоз [8]. Кроме того, вдыхание продуктов сгорания топлива влечет развитие хронической обструктивной болезни легких [9–11]. Также связанные с работой в шахте негативные факторы окружающей среды и физические нагрузки способствуют развитию воспалительных процессов в организме. К тому же шахтеры подвержены повышенному риску остеопороза, обусловленному неблагоприятными условиями труда и дефицитом витамина D, который играет ключевую роль в усвоении кальция и фосфора, необходимых для поддержания костной ткани [12, 13].

Антиоксиданты – вещества, способствующие снижению риска возникновения респираторных и воспалительных заболеваний, а также окислительного стресса и связанных с ним заболеваний [14, 15]. К данной группе веществ относятся флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, а также летучие органические соединения растительного происхождения [16–18]. Флавоноиды – группа растительных компонентов, обладающих полезными свойствами как для каждого человека, так и, потенциально, для шахтеров, в частности. Они являются сильными антиоксидантами, защищают клетки и ткани от повреждения свободными радикалами. Это способствует снижению риска развития многих хронических заболеваний, таких как онкологические, сердечно-сосудистые, диабет и нейродегенеративные расстройства [19–21]. Флавоноиды обладают противовоспалительными свойствами, что может быть полезно при ревматических заболеваниях, воспалениях и аллергических реакциях [20]. Они способны уменьшать воспалительные процессы в организме, возможно вызванные различными заболеваниями [21]. Флавоноиды снижают риск развития респираторных заболеваний, которые связаны с негативным воздействием окружающей среды, например, вдыханием пыли

и газов в шахтах [22]. Помимо этого, данные вещества улучшают эластичность и проницаемость кровеносных сосудов, способствуя нормализации артериального давления и снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [23, 24]. Также они укрепляют костную ткань и снижают риск остеопороза [25], играют роль в улучшении пищеварения и повышении эффективности абсорбции питательных веществ [26]. Хлорофилл и каротиноиды – растительные пигменты, относящиеся к флавоноидам. Антиоксидантное действие данных веществ способствует нейтрализации свободных радикалов, защищая клетки от повреждений, а также укреплению иммунитета, снижению риска развития ряда заболеваний [27, 28]. Данные вещества обладают антимутагенной, противоопухолевой и противовоспалительной активностью, а также способствуют нормализации работы желудочно-кишечного тракта [29, 30].

Растения производят широкий спектр природных летучих органических соединений, многие из которых уникальны для каждого вида. Многие из этих соединений обладают сразу несколькими терапевтическими свойствами – повышением нервной стабильности, улучшением сна и подавлением гиперреактивности, в дополнение к действию антиоксидантов [18, 31, 32].

Издавна традиционные растительные препараты играли важную роль в жизни человека и являлись природными источниками здоровья [33].

Пасленовые культуры, такие как картофель и томаты, широко представлены в рационе питания и являются источниками ценных биологически активных веществ, включая флавоноиды, хлорофилл и каротиноиды [34, 35]. Однако потребление данных культур, как правило, ограничивается плодами или клубнями. При сборе урожая образуется значительное количество вторичного растительного сырья (листья, стебли и т. д.), которое в настоящее время не используется в пищевой промышленности, несмотря на перспективу применения в качестве источника антиоксидантов, в частности витамина D [36–39].

В листьях пасленовых содержится большая концентрация витамина D в сравнении с клубнями или плодами [36, 37], также они содержат значительное количество биологически активных соединений (флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, летучие органические соединения и др.), обладающих выраженными антиоксидантными свойствами, что делает их возможными источниками функциональных ингредиентов для обогащения рациона питания шахтеров [38, 39]. Это открывает потенциал для создания новых технологий переработки данного сырья и получения обогащенных продуктов.

Цель работы – исследовать компонентный состав листьев пасленовых растений (*Solanum lycopersicum* L., *Solanum tuberosum* L., *Solanum nigrum* L. и *Solanum dulcamara* L.) для использования их в качестве источников обогащения продуктов питания антиоксидантами и витамином D.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили листья томата (*Solanum lycopersicum* L.) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.), собранные в августе 2024 г. на территории г. Кемерово, а также листья паслена черного (*Solanum nigrum* L.) и паслена сладко-горького (*Solanum dulcmaria* L.), собранные на территории Омской области в Марьяновском районе в июне 2024 г. Образцы высушивали при температуре 22–24 °С в течение 3 суток с обработкой ультрафиолетовым светом при режиме день:ночь – 8:16 ч.

**Определение содержания флавоноидов.** Для этого к 2,0 г измельченного образца добавляли 50 мл 70 % этилового спирта. Экстракцию проводили с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 30 мин. Охлажденный экстракт фильтровали через бумажный фильтр «Желтая лента» (РЕАКОН, Россия) в мерную колбу объемом 50 мл. Оставшийся осадок подвергали повторной экстракции в тех же условиях. Объединенные экстракты доводили до метки 70 % этиловым спиртом (раствор А). Далее к 2,5 мл раствора А добавляли 5 мл 2 % раствора алюминия хлорида (ChemExpress, Россия) в 95 % этиловом спирте, 2 мл ацетатного буферного раствора с pH=3 и 15,5 мл 70 % этилового спирта (раствор Б). Для приготовления компенсационного раствора к 2,5 мл раствора А добавляли 2 мл ацетатного буферного раствора с pH = 3 и 20,5 мл 70 % этилового спирта. Раствор сравнения готовили аналогично раствору Б с использованием вместо раствора А раствора рутина 200 мкг/мл в 70 % этиловом спирте. Оптическую плотность раствора Б, компенсационного раствора и раствора сравнения измеряли на спектрофотометре UV 1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 450 нм в кюветах с длиной оптического пути 10 мм [40]. Содержание флавоноидов (Фл, %) рассчитывали по формуле 1.

$$\text{Фл} = \frac{(A_B - A_K) \times m_p}{m \times A_c} \times 100 \quad (1)$$

где  $A_B$  – оптическая плотность раствора Б;  $A_K$  – оптическая плотность компенсационного раствора;  $m$  – масса навески образца, пошедшего на анализ, г;  $m_p$  – масса рутина в растворе сравнения, г;  $A_c$  – оптическая плотность раствора сравнения.

Для определения содержания общего хлорофилла и каротиноидов к 4 мл раствора А, полученного ранее, добавляли 21 мл 95 % этилового спирта (раствор В). Оптическую плотность раствора В измеряли на спектрофотометре при длине волны 667 нм для общего хлорофилла [41] и 450 нм для каротиноидов [39] в кюветах с длиной оптического пути 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали 95 % этиловый спирт. Содержание общего хлорофилла и каротиноидов рассчитывали по формулам 2 и 3.

$$\text{Хл} = \frac{A_B \times 100 \times 25}{m \times 3778} \times 100 \quad (2)$$

где Хл – содержание хлорофилла, %;  $A_B$  – оптическая плотность раствора В;  $m$  – масса навески образца, г; 100 – пересчет на разведение, мл; 25 – содержание хлорофилла в 1 мл 1 % раствора в этиловом спирте, мг; 3778 – удельный показатель поглощения хлорофилла при 667 нм.

$$\text{Кр} = \frac{A_B \times 100 \times 10}{m \times 2500} \times 100 \quad (3)$$

где Кр – содержание каротиноидов, %;  $A_B$  – оптическая плотность раствора В;  $m$  – масса навески образца, г; 100 – пересчет на разведение, мл; 10 – содержание каротиноидов в 1 мл 1 % раствора в этиловом спирте, мг; 2500 – удельный показатель поглощения каротиноидов при 450 нм.

**Компонентный состав летучих органических соединений** определяли методом газо-жидкостной хроматографии, согласно методу, описанному В. Д. Работяговым и соавторами [42]. Экстрагировали исследуемое сырье с помощью 50 % этилового спирта в соотношении 1:10 в течение 10 суток при температуре 22–24 °С. Для анализа использовали газо-жидкостный масс-спектрометр GCMS-QP2010Ultra SE (Shimadzu, Япония).

**Антиоксидантная активность по методу с АВТС.** 14 ммоль реактива АВТС (AppliChem, Германия) растворили в дистиллированной воде и 5 ммоль калия надсернистого (Ленреактив, Россия) – в 0,1 М калий-фосфатном буфере (pH 7,4) в соотношении 1:1. Раствор АВТС выдерживали в течение 16–18 ч при комнатной температуре в темном месте, далее разбавляли его дистиллированной водой до оптической плотности  $0,70 \pm 0,02$  при длине волны 754 нм. Полученный раствор смешали с измельченными листьями пасленовых в соотношении 15:1, держали в темном месте в течение 30 мин и фильтровали. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре UV 1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 754 нм [43]. Антиоксидантную активность по АВТС ( $AOA_{ABTS}$ , %) рассчитывали по формуле 4.

$$AOA_{ABTS} = \frac{A_{ABTS} - A_{иссл}}{A_{ABTS}} \times 100 \quad (4)$$

где  $A_{ABTS}$  – оптическая плотность реактива АВТС;  $A_{иссл}$  – оптическая плотность исследуемого раствора.

**Антиоксидантная активность по методу с DPPH.** 0,079 г сухого реактива DPPH (Alfa Aesar, Германия) растворяли в 1 л 95 % этилового спирта (Кемеровская фармацевтическая фабрика, Россия), затем выдерживали в течении 15 мин в ультразвуковой ванне Stegler 3DT (Stegler, Китай). Полученный раствор смешивали с измельченными листьями пасленовых растений в соотношении 3:1, оставляли в темном месте на 30 мин и фильтровали. В качестве контроля использовали 95 % этиловый спирт ( $K_1$ ) и раствор DPPH ( $K_2$ ). Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при длине волны 517 нм [44]. По формуле 5 рассчитывали антиоксидантную активность по DPPH ( $AOA_{DPPH}$ , %).



$$AOA_{\text{ДРPH}} = \left(1 - \frac{ОП_{об} - ОП_{К1}}{ОП_{К2} - ОП_{К1}}\right) \times 100 \quad (5)$$

где ОП<sub>об</sub> – оптическая плотность образца; ОП<sub>К1</sub> – оптическая плотность К<sub>1</sub>; ОП<sub>К2</sub> – оптическая плотность К<sub>2</sub>.

Определение содержания витамина D проводили в соответствии с ГОСТ EN 12821-2014 методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с помощью жидкостного хроматографа LC-20 (Shimadzu, Япония). В качестве растворителя использовали гексан (Лен-реактив, Россия).

Все исследования проводились в трехкратной повторности. Полученные данные выражали среднее значение трех измерений со стандартным отклонением. Анализ статистических данных осуществляли при помощи программного продукта Microsoft Office Excel 2007. Статистический анализ полученных данных проводили методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе Кемеровского государственного университета.

### Результаты и их обсуждение

Согласно литературным данным [14, 15], для снижения риска развития окислительного стресса и связанных с ним заболеваний рацион питания шахтеров должен быть богат антиоксидантами. К веществам, обладающим высокой антиоксидантной активностью, относятся флавоноиды – группа фитохимических соединений, участвующая в защите клетки от повреждений, индуцированных свободными радикалами. Это

свойство позволяет снизить риск развития различных хронических заболеваний включая сердечно-сосудистые, диабет и нейродегенеративные патологии [19–21]. Основными растительных флавоноидами являются хлорофилл и каротиноиды. Их способность нейтрализовывать свободные радикалы помогает защищать клетки от окислительного стресса, потенциально укрепляя иммунную систему и снижая риск развития ряда заболеваний [27, 28]. Результаты определения содержания флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов представлены на рисунке 1.

Содержание флавоноидов варьировалось от 31,7 до 50,3 % от сухой массы, хлорофилла – от 10,1 до 29,9 % от сухой массы, каротиноидов – 8,1–24,3 % от сухой массы. Наибольшее количество отмечено у листьев паслена сладко-горького (содержание флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов соответствуют 50,3; 29,9 и 24,3 % от сухой массы), на втором месте листья картофеля (46,5; 22,4 и 19,6 % от сухой массы).

Также к числу веществ, проявляющих антиоксидантную активность, относятся летучие органические соединения, продуцируемые растениями. Биосинтез и состав данных веществ варьируется в зависимости от вида и сорта растения, условий его роста и стадии развития. Антиоксидантный потенциал этих соединений обусловлен способностью нейтрализовать свободные радикалы, ингибировать перекисное окисление липидов и хелатировать ионы металлов, играющих роль прооксидантов [18]. Авторами проведено исследование этиловых экстрактов листьев пасленовых по методу В. Д. Работягова и соавторов [42] с использованием газо-жидкостного масс-спектрометра и получен профиль летучих органических соединений (рис. 2–5).

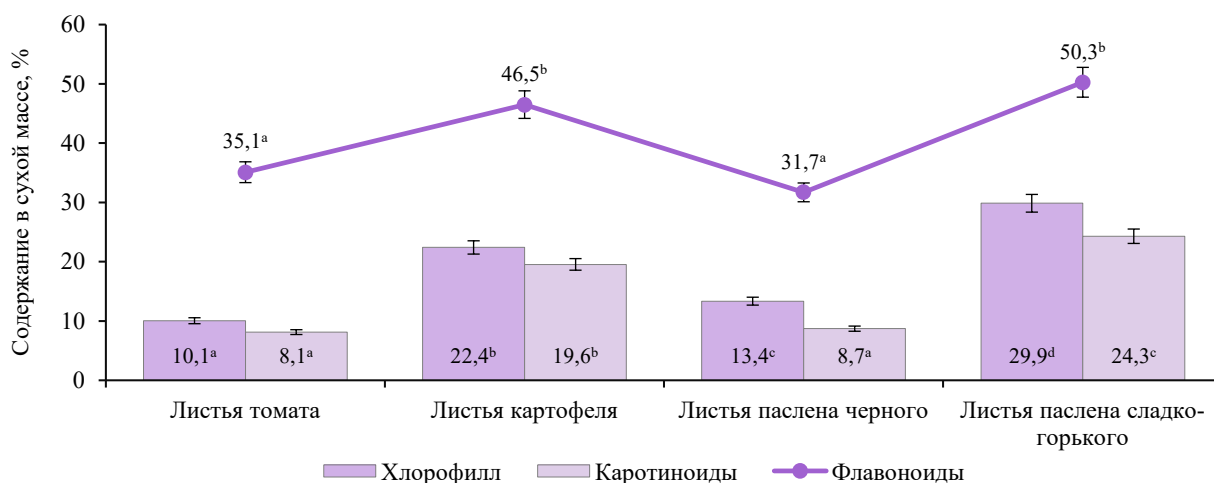


Рисунок 1. Содержание флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов в исследуемых образцах пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 1. Content of flavonoids, chlorophyll, and carotenoids in nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)

Анализ компонентного состава относительного профиля летучих органических соединений этиловых экстрактов листьев исследуемых пасленовых растений представлен в таблицах 1–4. В составе летучих органических соединений исследуемых образцов листьев пасленовых присутствуют в основном вещества терпеновой природы: моно-, сесквитерпены, их производные, а также гетероциклические и ароматические соединения, альдегиды, жирные спирты, кислоты и эфиры.

Результаты анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата (рис. 2, табл. 1) показали, что в наибольшем количестве в них содержится уксусная кислота (15,57 % относительно других компонентов), также 1,9-циклогексадекадиен (8,04 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (6,93 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты (6,77 %), тридекановая кислота (4,64 %), этиловый эфир линолевой кислоты (4,55 %), 5-гидроксиметилфурфурол (4,5 %), декагидро-транснафталин (3,86 %), гидразид уксусной кислоты и гексадекановая кислота (по 3,73 %), (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (3,65 %), 2,3-дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-он (3,3 %), октадекановая кислота (2,22 %), 1-(+)-аскорбиновая кислота 2,6-дигексадеканоат (1,72 %), этиловый эфир 2-гидрокси-1-(гидроксиметил) гексадекановой кислоты (1,09 %), N-бутил-N-нитрозо-мочевина (1,07 %) и 2,4-дигидрокси-2,5-диметил-3(2Н)-фуран-3-он (1 %). Другие исследователи находили схожие летучие органические соединения в этиловых экстрактах томатов. Так, J. Nawrocka с соавторами [45] обнаружили в листьях

томата преимущественно спирты, альдегиды и терпеноиды; и R. A. Agafa et al. [46] – этиловые эфиры октадекатриеновой кислоты; карбоновые кислоты, терпеноиды и жирные спирты.

Данные, приведенные на рисунке 3 и в таблице 2, свидетельствуют о том, что в листьях картофеля в наибольшем количестве содержатся метиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (13,43 % относительно других компонентов), уксусная кислота (12,17 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (10,7 %), (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (8,96 %), фитол (7,04 %), гексадекановая кислота (5,71 %), этил-9-гексадецеаноат (4,06 %), 4,5-дигидро-5-метил-метиловый эфир (R)-5-изоксазолкарбоновая кислота (3,71 %), октадекановая кислота (3,08 %), N-пентилизотиоцианат (2,69 %), N-(1,1-диметил-3-оксобутил)-2-метилазетидин (1,79 %), этиловый эфир 2-гидрокси-1-(гидроксиметил) гексадекановой кислоты (1,45 %), пропановая кислота (1,12 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (1,06 %), 2,3-дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновая кислота (1,05 %) и дигидро-2(3Н)-фуранон (1,04 %). Исследования других ученых выявили аналогичные летучие органические соединения в листьях картофеля. Например, С. А. Agho et al. [47] и N. Sara et al. [48] обнаружили в листьях картофеля преимущественно насыщенные жирные кислоты, терпеноиды, ацетальдегиды.

Результаты анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного (рис. 4, табл. 3) показали,

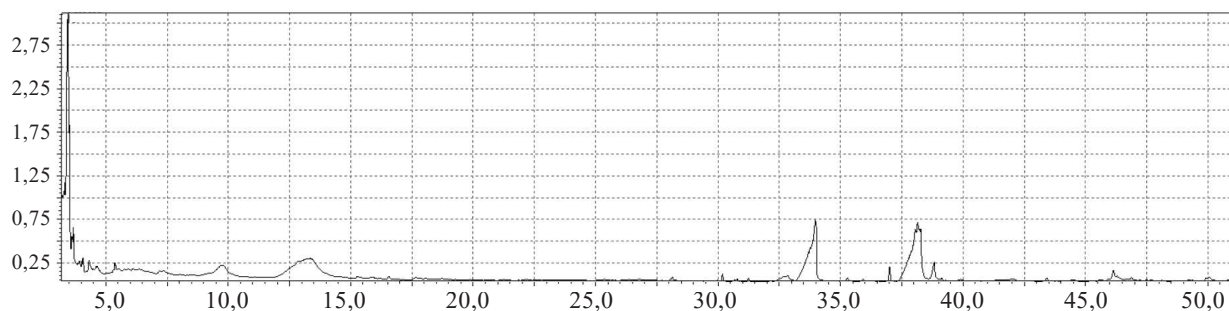


Рисунок 2. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата

Figure 2. Volatile organic compounds in ethyl extract of tomato leaves: chromatogram

Таблица 1. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата

Table 1. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of tomato leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
2	3,321	3,305	3,345	0,76	Этиловый эфир 2-оксо-пропановой кислоты
3	3,473	3,345	3,490	15,57	Уксусная кислота (CAS)
4	3,504	3,490	3,575	3,73	Гидразид уксусная кислота (CAS)
5	3,617	3,595	3,665	0,71	Метиловый эфир 2-пропеновой кислоты

Продолжение таблицы 1

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
6	3,680	3,665	3,750	0,55	1-Гидрокси-2-Пропанон (CAS)
9	4,016	3,995	4,040	0,40	2-Фуранметанол
10	4,076	4,040	4,140	0,46	5-(1,2-Пропадиенилокси)-2-пентанон (CAS)
12	4,323	4,245	4,455	1,07	N-Бутил-N-нитрозо-мочевина
13	4,477	4,455	4,550	0,26	3-Бром-гексан (CAS)
14	4,615	4,550	4,650	0,41	Циклогексанон
15	4,665	4,650	4,745	0,34	4-Метил-1,6-гептадиен-4-ол
21	5,372	5,345	5,450	1,00	2,4-Дигидрокси-2,5-диметил-3(2H)-фуран-3-он
22	5,495	5,450	5,530	0,30	1-Хлор-3-пентанон
23	5,557	5,530	5,645	0,39	Фенол (CAS)
24	5,758	5,645	5,780	0,43	DL-Ксилоза
25	5,800	5,780	5,830	0,17	DL-Арабиноза
26	5,922	5,830	6,045	0,75	Этил-N-гидроксиацетимидат
27	6,095	6,045	6,210	0,59	3-Метил-1,2-циклопентандион
28	6,257	6,210	6,305	0,33	4-Метокси-2,6-дипропил-1,3-диоксан
29	6,357	6,305	6,590	0,89	Дипропионат 2-фуранметандиол
30	6,635	6,590	6,685	0,21	3-Гидроксипиридина моноацетат
31	6,760	6,685	6,820	0,21	3,6-Диметил-3,6-дигидро-пиран-2-он оксим
40	9,787	9,770	10,180	3,30	2,3-Дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4H-пиран-4-он (CAS)
43	12,560	12,480	12,575	0,72	3-Этил-4,4-диметил-2-пентен
44	12,845	12,575	12,930	3,86	Декагидро-транс-нафталин (CAS)
48	13,240	13,225	13,255	0,45	2-Фуранметанол (CAS)
51	13,405	13,390	13,945	4,50	5-Гидроксиметилфурфурол
52	13,965	13,945	13,995	0,13	5-Метил-3-гексен-2-он
56	16,567	16,480	16,660	0,18	2-(2-Бутенил)-4-гидрокси-3-метил-(Z)-2-циклопентен-1-он (CAS)
58	17,672	17,615	17,755	0,10	Транс-кариофиллен
66	28,142	27,990	28,220	0,23	Тетрадекановая кислота
68	30,182	30,105	30,280	0,29	Неофитадиен
69	30,691	30,565	30,745	0,15	Пентадекановая кислота
70	30,794	30,745	30,865	0,13	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
71	31,245	31,175	31,360	0,16	3,7,11,15-Тетраметил-[R-[R*,R*-(E)]]-2-гексадецен-1-ол (CAS)
73	32,856	32,795	32,945	0,12	1-Метокси-(Э)-9-октадецен
74	33,615	33,155	33,630	3,73	Гексадекановая кислота
75	33,695	33,630	33,710	1,72	1-(+)-Аскорбиновая кислота 2,6-дигексадеканоат
76	33,862	33,710	33,875	4,64	Тридекановая кислота
77	33,974	33,875	34,385	6,93	Этиловый эфир гексадекановой кислоты (CAS)
78	35,278	35,165	35,465	0,27	Эйкозановая кислота (CAS)
79	35,920	35,770	35,990	0,15	Гептадекановая кислота (CAS)
83	37,006	36,905	37,150	0,80	Фитол
84	37,960	37,330	37,975	8,04	1,9-Циклогексадекадиен
85	38,053	37,975	38,095	4,55	Этиловый эфир линолевой кислоты
86	38,158	38,095	38,250	6,77	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота
87	38,271	38,250	38,590	3,65	(Z,Z,Z)-9,12,15-Октадекатриеновая кислота
88	38,836	38,590	39,045	2,22	Октадекановая кислота
89	39,135	39,045	39,250	0,17	Этиловый эфир октадекановой кислоты
90	39,904	39,840	40,050	0,11	Фитол ацетат
93	42,019	41,950	42,140	0,11	Бензоат (3,бета.)-холеста-4,6-диен-3-ол (CAS)
100	46,142	45,945	46,245	1,09	2-Гидрокси-1-(гидроксиметил) этиловый эфир гексадекановой кислоты
101	46,281	46,245	46,550	0,47	Бегеновый спирт
102	46,877	46,810	47,065	0,12	1,2-Бензолдикарбоновая кислота
108	49,940	49,820	49,990	0,25	2,3-Дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (CAS)

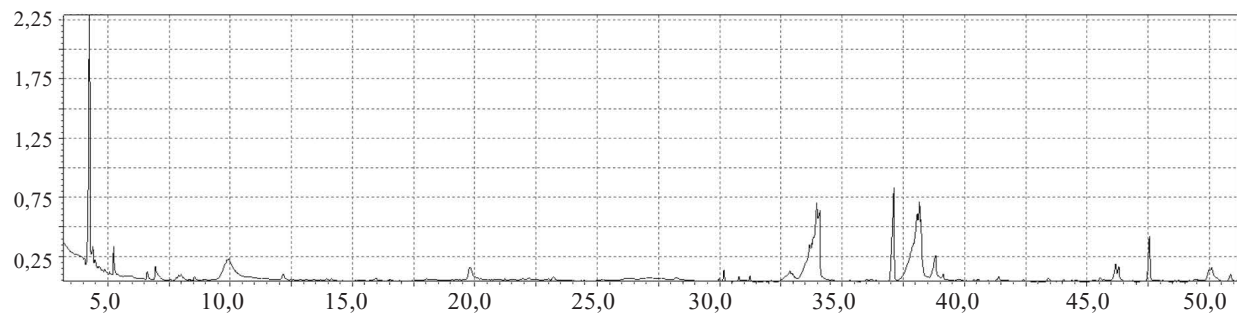


Рисунок 3. Хромотограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев картофеля

Figure 3. Volatile organic compounds in ethyl extract of potato leaves: chromatogram

Таблица 2. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев картофеля

Table 2. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of potato leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	4,056	4,020	4,090	0,12	Аланин-D3
2	4,248	4,100	4,330	12,17	Уксусная кислота (CAS)
3	4,397	4,330	4,440	1,12	Пропановая кислота
4	4,477	4,440	4,585	0,42	1,2-Пропандиол (CAS)
6	4,653	4,630	4,760	0,11	2-Гидроксиметил-3-метил-оксиран
8	4,876	4,840	5,065	0,16	Сульфинилбис-метан (CAS)
9	5,242	5,200	5,485	1,04	Дигидро-2(3H)-Фуранон (CAS)
11	6,614	6,565	6,755	0,41	2,4-Диметил-2-оксазолин-4-метанол
12	6,947	6,860	7,060	0,98	N-(3-Метил-3-бутенил)-пирролидин
13	7,075	7,060	7,310	0,39	2-Октанон (CAS)
17	7,820	7,730	7,860	0,24	2,5-Диметил-4-гидрокси-3(2H)-фуранон
19	7,995	7,925	8,090	0,59	Азидо-циклогексан
20	8,110	8,090	8,290	0,24	1,1'-Метиленбис-пиперидин
21	8,335	8,290	8,435	0,10	2,5-Дигидро-1H-пиррол
22	8,546	8,470	8,730	0,29	Мальтол
24	8,959	8,930	9,100	0,11	3,4-Диметил-3-пирролин-2-он
25	9,880	9,430	9,895	2,69	N-Пентил изотиоцианат
26	9,925	9,895	10,410	3,71	4,5-Дигидро-5-метил-метиловый эфир (R)-5-изоксазолкарбоновая кислота (CAS)
28	12,167	12,010	12,395	0,57	1-Ментен-8-ил ацетат
30	13,949	13,840	14,050	0,12	2-Метокси-4-винилфенол
31	14,132	14,070	14,245	0,10	3-(3-Метил-1-бутенил)-(Э)-циклогексен
35	15,969	15,830	16,115	0,24	N,N-Диэтиланилин
41	19,807	19,650	20,085	1,79	N-(1,1-Диметил-3-оксобутил)-2-метилазетидин
48	22,204	22,065	22,340	0,20	Альфа-Бисаболол
53	23,209	23,100	23,375	0,29	8,8-Диметил-9-метилен-1,5-циклундекадиен
56	28,228	28,060	28,310	0,15	Тетрадекановая кислота (CAS)
57	29,971	29,910	30,085	0,14	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон
58	30,177	30,085	30,265	0,43	Неофитадиен
59	30,785	30,700	30,850	0,20	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
62	32,117	32,000	32,235	0,10	Дибутиловый эфир 1,2-бензолдикарбоновой кислоты (CAS)
63	32,710	32,430	32,760	0,71	3-(3-Бутенил)-2-циклогептен-1-он
64	32,867	32,760	32,940	1,06	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
67	33,674	33,525	33,725	4,06	Этил-9-гексадеценоат
68	33,965	33,725	34,005	10,70	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
69	34,094	34,005	34,450	5,71	Гексадекановая кислота (CAS)
74	36,238	36,095	36,295	0,15	1-Нонадеканол



Продолжение таблицы 2

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
75	37,118	36,860	37,210	7,04	Фитол
76	38,077	37,295	38,095	13,43	Метилвый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты
77	38,162	38,095	38,570	8,96	(Z,Z,Z)-9,12,15-Октадекатриеновая кислота
78	38,820	38,570	39,020	3,08	Октадекановая кислота
79	39,127	39,020	39,215	0,37	Этиловый эфир октадекановой кислоты
81	39,820	39,750	39,965	0,12	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
82	40,386	40,305	40,450	0,07	3-Гидроксидекановая кислота
85	41,398	41,240	41,500	0,26	1-Октадеканол
89	43,437	43,310	43,570	0,27	Эйкозановая кислота (CAS)
91	44,530	44,465	44,645	0,11	Октагидро-1-(2-октилдецил)-пентален (CAS)
94	46,183	45,965	46,240	1,45	2-Гидрокси-1-(гидроксиметил) этиловый эфир гексадекановой кислоты
95	46,301	46,240	46,515	0,96	Н-Нонадеканол-1
104	50,013	49,825	50,040	1,05	2,3-Дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (CAS)
106	50,874	50,720	50,970	0,44	Н-Тетракозанол-1

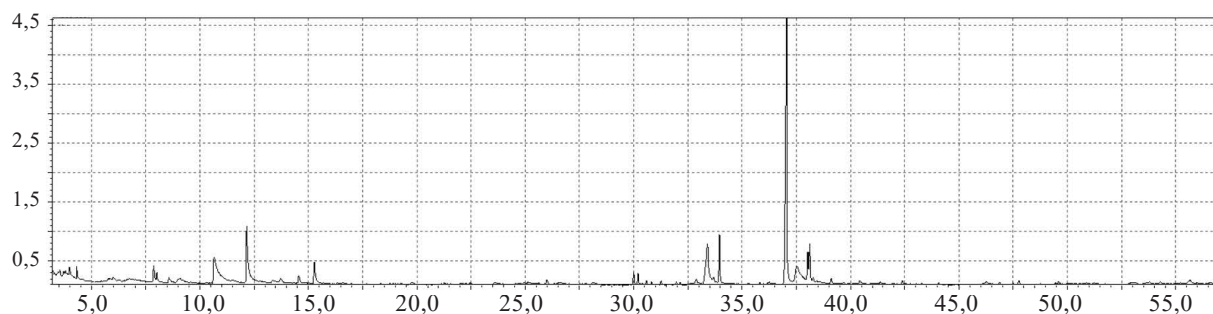


Рисунок 4. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного

Figure 4. Volatile organic compounds in ethyl extract of black nightshade leaves: chromatogram

Таблица 3. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного

Table 3. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of black nightshade leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
2	3,707	3,660	3,760	0,45	3-Метил-бутановая кислота (CAS)
3	3,799	3,760	3,820	0,27	2-Метил-бутановая кислота (CAS)
5	3,979	3,955	4,095	0,70	Дигидро-2(3H)-фуранон (CAS)
6	4,313	4,290	4,425	0,86	Метокси-фенил-Оксим
7	5,985	5,955	6,055	0,31	Дигидро-3-гидрокси-4,4-диметил-(,+/-)-2(3H)-фуранон,
8	6,100	6,055	6,135	0,12	1-Этоксипентан-3-ол
9	7,867	7,815	7,965	1,87	3-Метил-гептан
10	8,568	8,515	8,630	0,58	2-Бутилтетрагидро-фуран (CAS)
11	8,690	8,630	8,700	0,14	Этиловый эфир муравьиной кислоты (CAS)
12	9,094	8,910	9,160	0,77	Ундец-3-ен-2-ол
13	10,654	10,580	10,855	7,44	4,7-Диметил-4-октанол
14	10,870	10,855	10,955	1,02	Бутиловый эфир 2-метил-2-пропеновая кислота (CAS)
15	11,030	10,955	11,070	0,41	1-Хлор-8-гептадецен (CAS)
16	12,158	12,100	12,330	8,70	5-Нонанол (CAS)
17	12,385	12,330	12,405	0,43	3-Метил-6-(1-метилэтил)-2-циклогексен-1-он (CAS)
19	13,728	13,650	13,755	0,40	3-Изопропил-4-метил-дек-1-ен-4-ол

Продолжение таблицы 3

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
21	14,551	14,495	14,655	0,88	3-Метил-6-(1-метилэтилиден)-2-циклогексен-1-он (CAS)
22	15,272	15,200	15,450	3,14	Оксид пиперитенона
23	26,006	25,930	26,095	0,58	2-Амино-2-метил-3-додецин
24	29,997	29,930	30,090	1,17	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон
25	30,200	30,090	30,260	1,02	Неофитадиен
26	30,290	30,260	30,335	0,11	5-Этил-2-нонанол (CAS)
27	30,591	30,535	30,650	0,35	Этиловый эфир пентадекановой кислоты
28	30,812	30,765	30,880	0,27	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
29	31,264	31,215	31,325	0,33	Неофитадиен
31	32,135	32,090	32,180	0,14	Метилвый эфир 14-метил-пентадекановой кислоты (CAS)
33	32,896	32,820	32,960	0,45	(Z)-3-Гептадецен-5-ин
35	33,402	33,195	33,610	10,76	Н-Гексадеканановая кислота
36	33,688	33,610	33,755	0,71	Этил-9-гексадецеаноат
37	33,960	33,870	34,085	4,52	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
39	37,053	36,895	37,245	37,60	Фитол
41	37,513	37,370	37,540	1,90	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
43	38,028	37,950	38,070	3,06	Этиллинолеат
44	38,118	38,070	38,215	3,85	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
45	38,273	38,230	38,345	0,30	Этиловый эфир (Z)-9-октадецеиновой кислоты
47	39,111	39,055	39,175	0,50	Этиловый эфир октадекановой кислоты (CAS)
49	42,389	42,310	42,445	0,39	4,8,12,16-Тетраметилгептадекан-4-олид
50	44,068	44,015	44,115	0,15	Этиликозаноат
52	47,765	47,710	47,835	0,44	1,2,3-Пропантрииловый эфир 2-метил-пропановой кислоты
54	49,590	49,540	49,680	0,26	2,6,6-Триметил-октановая кислота

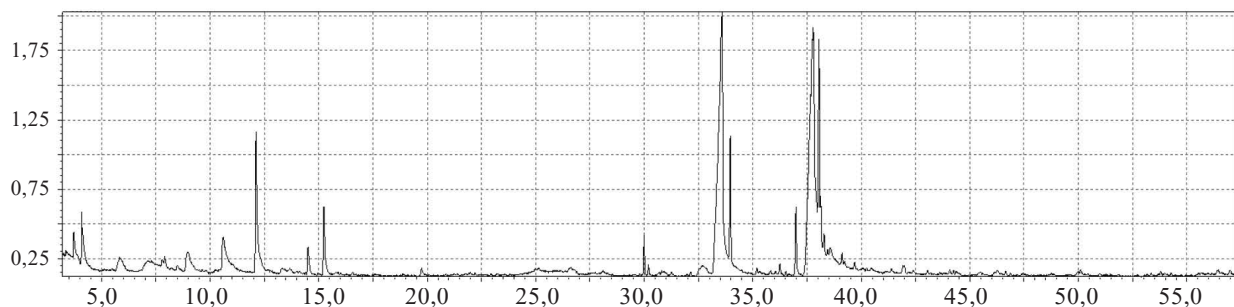


Рисунок 5. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького

Figure 5. Volatile organic compounds in ethyl extract of bitter melon leaves: chromatogram

Таблица 4. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького

Table 4. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of bitter melon leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	3,352	3,320	3,450	0,19	3,5-Бис-триметилсилил-2,4,6-циклогептатриен-1-он
2	3,717	3,675	3,860	0,93	Дигидро-2(3H)-фуранон (CAS)
5	4,080	4,055	4,320	2,22	Метокси-фенил-оксим
6	5,740	5,675	5,815	0,10	Бензолацетальдегид
7	7,775	7,730	7,870	0,29	Формиат 3-метил-1-бутанол
8	7,914	7,870	8,020	0,36	Гексаметил-циклотрисилоксан (CAS)

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
9	8,964	8,815	9,100	1,14	2,3-Дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-он (CAS)
11	10,606	10,500	10,665	1,54	Каприловый ангидрид
12	10,675	10,665	10,730	0,44	Метилловый эфир 4-Ацетиламинобут-2-еновой кислоты
13	10,740	10,730	10,785	0,20	3-Гидрокси-пропанитрил (CAS)
15	12,115	12,040	12,430	6,40	5-Нонанол (CAS)
16	14,509	14,450	14,650	1,00	3-Метил-6-(1-метилэтилиден)-2-циклогексен-1-он (CAS)
17	15,238	15,170	15,440	2,54	Оксид пиперитенона
18	19,743	19,670	19,815	0,27	5,6,7,7А-Тетрагидро-4,4,7а-триметил-2(4Н)-бензофуранон
20	29,991	29,925	30,065	0,89	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон (CAS)
21	30,195	30,145	30,250	0,22	Неофитадиен
23	32,129	32,080	32,190	0,12	Метилловый эфир додекановой кислоты (CAS)
24	33,575	33,150	33,585	23,31	Гексадекановая кислота (CAS)
27	33,965	33,820	34,070	3,86	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
28	36,249	36,190	36,310	0,22	Метилловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты
29	36,525	36,460	36,575	0,11	Метилловый эфир 6-октадеценной кислоты (CAS)
30	36,989	36,905	37,080	1,86	Фитол
31	37,770	37,370	37,785	22,58	4-Тетрадецин
32	37,795	37,785	37,965	9,37	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
33	38,049	37,965	38,100	7,88	Этиловый эфир линолевой кислоты
34	38,121	38,100	38,210	2,00	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
35	38,277	38,210	38,380	1,27	Этиловый эфир (Z)-9-октадеценной кислоты
36	38,453	38,380	38,495	0,42	Этилолеат
37	38,573	38,495	38,705	0,64	Октадекановая кислота
38	39,112	39,070	39,180	0,24	Этиловый эфир октадекановой кислоты (CAS)
39	39,694	39,625	39,765	0,19	Фитол ацетат
41	41,923	41,865	42,045	0,38	1,3-Диметил-(3,7-диметил)октил) циклогексан
42	44,074	44,015	44,120	0,11	Этиловый эфир эйкозановой кислоты
44	53,797	53,740	53,855	0,11	Урс-12-ен-28-ол (CAS)
45	56,981	56,930	57,055	0,12	(3бета,25R)-спирост-5-ен-3-ол ацетат

что в наибольшем количестве в них содержится фитол (37,6 % относительно других компонентов), также Н-гексадеканановая кислота (10,76 %), 5-нонанол (8,7 %), 4,7-диметил-4-октанол (7,44 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (4,52 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты (3,85 %), оксид пиперитенона (3,14 %), этиллинолеат (3,06 %), (Z,Z)-9,12-октадекадиеновая кислота (1,9 %), 3-метил-гептан (1,87 %), 6,10,14-триметил-2-пентадеканон (1,17 %), бутиловый эфир 2-метил-2-пропеновой кислоты и неофитадиен (по 1,02 %). Проведенный обзор литературы подтверждает наличие аналогичных летучих органических соединений в этиловых экстрактах листьев паслена черного. Т. Aburjai *et al.* [49] и Х. Chen *et al.* [38] обнаружили в листьях паслена черного преимущественно насыщенные терпеноиды, эфиры карбоновых кислот, жирные спирты.

В результате анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького (рис. 5.,

табл. 4) выявили большое содержание гексадекановой кислоты (23,31 % относительно других компонентов), 4-тетрадецина (22,58 %), (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (9,37 %), этилового эфира линолевой кислоты (7,88 %), 5-нонанола (6,4 %), этилового эфира гексадекановой кислоты (3,86 %), оксида пиперитенона (2,54 %), метокси-фенил-оксима (2,22 %), этилового эфира (Z,Z,Z)-9,12,15-окта-декатриеновой кислоты (2 %), фитола (1,86 %), каприлового ангидрида (1,54 %), этилового эфира (Z)-9-октадеценной кислоты (1,27 %), 2,3-дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-она (1,14 %), 3-метил-6-(1-метилэтилидена)-2-циклогексен-1-она (1 %). Анализ литературных данных свидетельствует о том, что ранее исследования состава летучих органических соединений листьев паслена сладко-горького не проводились.

Идентифицированные летучие вещества в этиловых экстрактах листьев пасленовых растений обладают высокой биологической активностью. Например, уксусная кислота, обнаруженная в большом количестве

в листьях картофеля и томата, способствует улучшению жирового и углеводного обмена в организме человека, а также характеризуется высокими антибактериальными и антиоксидантными свойствами [50–52]. Терпеноиды, в частности 1,9-циклогексадекадиен (листья картофеля) и фитол (листья томата, паслена черного и сладко-горького), обладают антиоксидантными, антимикробными и противовоспалительными свойствами [53, 54]. Полиненасыщенные жирные кислоты и их производные, в том числе гексадекановая, октадекатриеновая, линолевая кислоты и 5-нонанол, а также их эфиры (обнаружены во всех исследуемых экстрактах), улучшают жировой обмен, снижают негативное воздействие окислительного стресса и воспалительных процессов на организм [55–59].

Важность антиоксидантной активности сырья для обогащения рациона питания шахтеров обусловлена способностью нейтрализовать свободные радикалы, снижая риск развития окислительного стресса и связанных с ним заболеваний [60]. Все вышеперечисленные исследуемые вещества (флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды и летучие соединения) обладают антиоксидантной активностью, однако механизмы их действия могут быть различны. Поэтому для всесторонней оценки антиоксидантного потенциала исследуемого сырья необходим комплексный анализ, включающий определение способности к нейтрализации различных типов свободных радикалов. Результаты определения антиоксидантной активности по методам с ABTS и DPPH представлены на рисунке 6.

Антиоксидантная активность по методу с ABTS варьировалась от 36,2 до 55,4 %, по методу с DPPH – 28,2–43,5 %, что указывает на выраженную антиокси-

дантную способность. Наибольшей активностью обладали листья паслена сладко-горького (55,4 и 43,5 %), на втором месте – листья картофеля (51,9 и 32,4 %), на третьем – листья томата (40,8 и 29,5 %). На основании результатов, полученных двумя методами, можно сделать вывод, что исследуемое сырье обладает высокой антиоксидантной активностью. Так, индийские ученые М. R. Priyadarshini и N. Lakshmidēvi [44] обнаружили в метиловом экстракте листьев паслена сладко-горького антиоксидантную активность по методу с ABTS – в среднем 86 %, в хлороформном экстракте с DPPH – в среднем 78 %. В исследовании [61] в метиловом экстракте листьев томата с ABTS зафиксировали – в среднем 75 %, с DPPH – в среднем 44 %. Корейский ученый К. J. Lee с соавторами [62] установил антиоксидантную активность в этиловом экстракте листьев томата с ABTS – примерно 35 %, с DPPH – примерно 30 %. В работе [63] показаны значения антиоксидантной активности в этиловом экстракте листьев паслена черного с ABTS – 30 %, с DPPH – 25 %. Различия между полученными нами результатами и данными других исследователей могут быть обусловлены применением разных методик. В других исследованиях использовались экстракты, полученные с применением различных растворителей, в то время как в настоящем исследовании оценивалась антиоксидантная активность листьев.

Проведенные исследования выявили умеренную положительную корреляцию между антиоксидантной активностью и содержанием флавоноидов, хлорофилла, каротиноидов и летучих органических соединений. Листья паслена сладко-горького, характеризующиеся высоким содержанием указанных веществ, показали

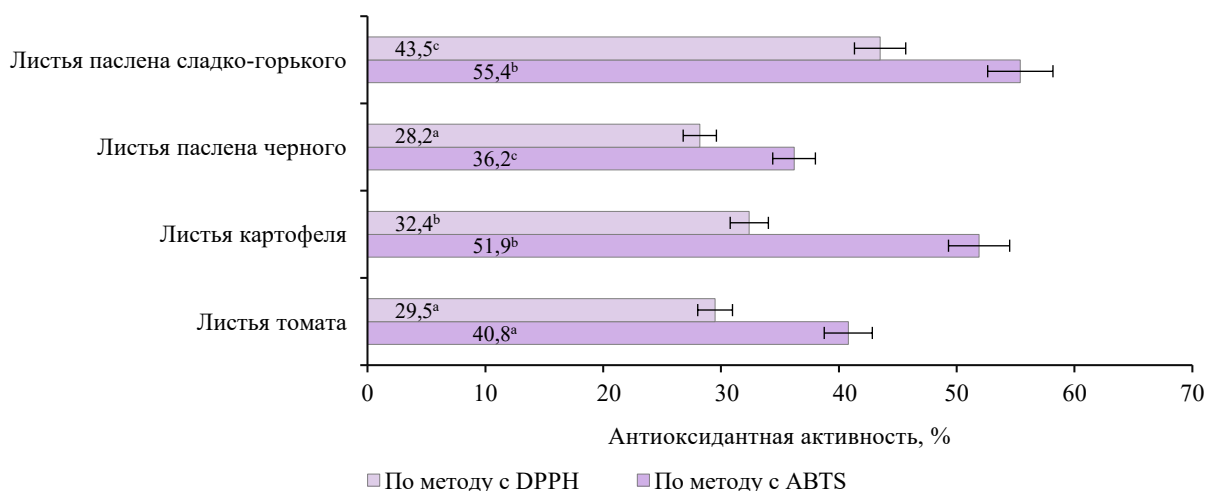


Рисунок 6. Антиоксидантная активность исследуемых образцов пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе. При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 6. Antioxidant activity of nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)



значительную антиоксидантную активность по отношению к радикалам ABTS и DPPH в сравнении с другими образцами. Несмотря на низкое содержание данных соединений в листьях томата, их антиоксидантная активность превышала значения этого показателя у паслена черного, в листьях которого концентрация флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов была выше. Это свидетельствует о влиянии на антиоксидантную активность не только обнаруженных веществ, но и других факторов. Роль витаминов в проявлении антиоксидантных свойств значительна, в частности витамина D [64, 65].

Наряду с высокой антиоксидантной активностью листья пасленовых характеризуются высоким содержанием витамина D. Например, в исследовании ученого R. В. Jäpelt с соавторами [36] обнаружено, что в листьях паслена воскового (*Solanum glaucophyllum* Desf.) после воздействия ультрафиолетового света витамин D содержится в количестве примерно 21 мкг/100 г сухой массы, в листьях томата (*S. lycopersicum* L.) – 9 мкг/100 г сухой массы. Иорданские исследователи Т. Абулҗаі с соавторами [37] обнаружили в листьях картофеля (*S. tuberosum* L.), не подвергавшихся воздействию ультрафиолета, 15 мкг/100 г сырой массы витамина D. Результаты данного исследования представлены на рисунке 7.

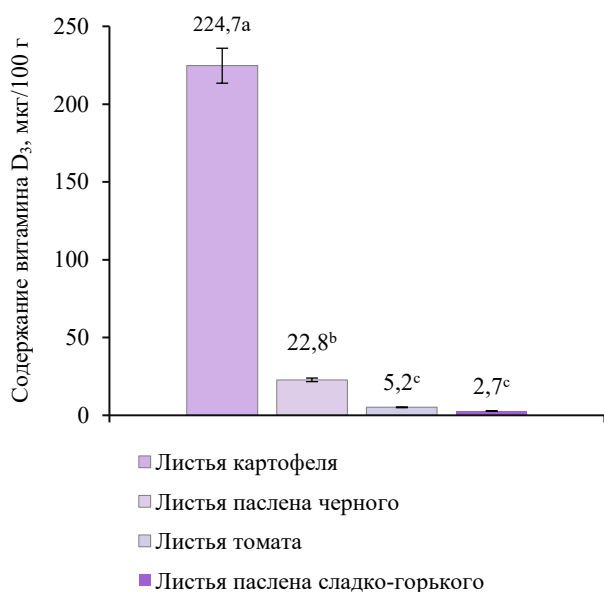


Рисунок 7. Содержание витамина D<sub>3</sub> в исследуемых образцах пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе. При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 7. Vitamin D<sub>3</sub> in nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)

Наибольшее количество витамина D<sub>3</sub> обнаружено в сухих листьях картофеля (224,7 мкг/100 г). С учетом суточной нормы витамина D<sub>3</sub> (15 мкг) перспективным источником также могут выступать листья паслена черного (22,8 мкг/100 г). Таким образом, для удовлетворения суточной потребности в витамине D необходимо 6,5 г сухих листьев картофеля или 65,7 г сухих листьев паслена черного.

## Выводы

Профессиональная деятельность шахтеров связана с повышенным риском развития окислительного стресса и сопутствующих ему патологий, а также респираторных, воспалительных и других заболеваний. Благодаря свойствам нейтрализовать свободные радикалы и снижать окислительное повреждение клеток антиоксиданты играют важную роль в профилактике и облегчении протекания вышеперечисленных заболеваний у шахтеров.

В результате исследования установлено, что в листьях томата, картофеля, паслена черного и сладко-горького содержится большое количество флавоноидов (35,1; 46,5; 31,7 и 50,3 %), хлорофилла (10,1; 22,4; 13,4 и 29,9 %), каротиноидов (8,1; 19,6; 8,7 и 24,3 %). Все исследуемые образцы характеризуются богатым составом летучих органических соединений. Это свидетельствует о высокой антиоксидантной активности листьев пасленовых растений, что также подтвердил анализ антиоксидантной активности, проведенный с использованием двух групп радикалов: ABTS (антиоксидантная активность 40,8; 51,9; 36,2 и 55,4 %) и DPPH (антиоксидантная активность 29,5; 32,4; 28,2 и 43,5 %). Таким образом, наиболее перспективными источниками антиоксидантов являются листья паслена сладко-горького.

Помимо высокой антиоксидантной активности, листья пасленовых характеризуются высоким содержанием витамина D. Так, исследования показали, что витамином D<sub>3</sub> богаты листья картофеля и паслена черного.

Благодаря антиоксидантным свойствам и содержанию витамина D листья пасленовых растений могут стать перспективным сырьем для пищевой промышленности, специализирующейся на выпуске продукции для профилактики окислительного стресса. Показана потенциальная польза листьев пасленовых растений для поддержания здоровья шахтеров и снижения риска развития профессиональных заболеваний.

## Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

### Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interests regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

### Список литературы / References

1. Martelli M, Salvio G, Santarelli L, Bracci M. Shift work and serum vitamin D levels: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(15):8919. <https://doi.org/10.3390/ijerph19158919>
2. Dash S, Gupta S, Epari V, Patra PY. Association of vitamin D levels in coal miners: A case-control study. *Indian Journal of Community Medicine*. 2020;45(2):181–183. [https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM\\_269\\_19](https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM_269_19)
3. Пичхадзе Г. М., Шалыгин А. Е., Зубцов Ю. Н. Энергетические потребности горняков, занимающихся добычей угля открытым способом. *Вопросы питания*. 1987. Т. 6. С. 33–35. [Pichkhadze GM, Shalygin AE, Zubtsov YuN. Energy needs of open-pit coal miners. *Problems of Nutrition*. 1987;6:33–35. (In Russ.)]
4. Соболева О. А., Минина В. И., Торгунакова А. В., Титов Р. А., Яковлева А. А. и др. Обеспеченность витамином D работников угольных шахт в зависимости от носительства полиморфных вариантов генов VDR и GC. *Вопросы питания*. 2024. Т. 93. № 4. С. 74–83. [Soboleva OA, Minina VI, Torgunakova AV, Titov RA, Yakovleva AA, et al. Vitamin D status in connection with VDR and GC genes polymorphism in coal mining workers. *Problems of Nutrition*. 2024;93(4):74–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-4-74-83>
5. Batool AI, Naveed NH, Aslam M, da Silva J, ur Rehman MF. Coal dust-induced systematic hypoxia and redox imbalance among coal mine workers. *ACS Omega*. 2020;5(43):28204–28211. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03977>
6. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*. 2021;12:643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
7. Chen H, Ding X, Zhang W, Dong X. Coal mining environment causes adverse effects on workers. *Frontiers in Public Health*. 2024;12:1368557. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1368557>
8. Petsonk EL, Rose C, Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013;187(11):1178–1185. <https://doi.org/10.1164/rccm.201301-0042CI>
9. Ferguson JM, Costello S, Elser H, Neophytou AM, Picciotto S, et al. Chronic obstructive pulmonary disease mortality: The diesel exhaust in miners study (DEMS). *Environmental Research*. 2020;180:108876. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108876>
10. Alter P, Baker JR, Dauletbaev N, Donnelly LE, Pistenmaa C, et al. Update in chronic obstructive pulmonary disease 2019. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2020;202(3):348–355. <https://doi.org/10.1164/rccm.202002-0370UP>
11. Milanzi EB, Gehring U. Detrimental effects of air pollution on adult lung function. *European Respiratory Journal*. 2019;54(1):1901122. <https://doi.org/10.1183/13993003.01122-2019>
12. Кудашева А. Р., Якупов Р. Р. Проблема остеопении среди работников горнодобывающего предприятия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2011. № 8. С. 27–29. [Koudasheva AR, Yakupov RR. Osteopenia problem in workers engaged into mining industry. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2011;(8):27–29. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OCBBGF>
13. Насонов Е. Л. Современные стратегии фармакотерапии ревматоидного артрита: место инфликсимаба. *Consilium Medicum*. 2006. Т. 8. № 8. С. 5–9. [Nasonov EL. Infliximab in modern pharmacotherapy strategies of rheumatoid arthritis. *Consilium Medicum*. 2006;8(8):5–9. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RLSWBP>
14. Фокина А. Д., Веснина А. Д., Фролова А. С., Чекушкина Л. А., Проскурякова Л. А. и др. Биоактивные вещества геропротекторной направленности. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina LYu, Proskuryakova LA, et al. Bioactive anti-aging substances: Geroprotectors. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
15. Faskhutdinova ER, Sukhikh AS, Le VM, Minina VI, Khelef MEA, et al. Effects of bioactive substances isolated from Siberian medicinal plants on the lifespan of *Caenorhabditis elegans*. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(2):340–352. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-544>
16. Maury GL, Rodríguez DM, Hendrix S, Arranz JCE, Boix YF, et al. Antioxidants in plants: A valorization potential emphasizing the need for the conservation of plant biodiversity in Cuba. *Antioxidants*. 2020;9(11):1048. <https://doi.org/10.3390/antiox9111048>
17. Pérez-Gálvez A, Viera I, Roca M. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*. 2020;9(6):505. <https://doi.org/10.3390/antiox9060505>

18. Kim M-H, Lee S-M, An K-W, Lee M-J, Park D-H. Usage of natural volatile organic compounds as biological modulators of disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(17):9421. <https://doi.org/10.3390/ijms22179421>
19. Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*. 2016;5:e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
20. Ullah A, Munir S, Badshah SL, Khan N, Poulson BG, *et al.* Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules*. 2020;25(22):5243. <https://doi.org/10.3390/molecules25225243>
21. Dias MC, Pinto DCGA, Silva AMS. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*. 2021;26(17):5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
22. Mattioli V, Zanolin ME, Cazzoletti L, Bono R, Cerveri I. Dietary flavonoids and respiratory diseases: A population-based multi-case-control study in Italian adults. *Public Health Nutrition*. 2020;23(14):2548–2556. <https://doi.org/10.1017/S1368980019003562>
23. Rees A, Dodd GF, Spencer JPE. The effects of flavonoids on cardiovascular health: A review of human intervention trials and implications for cerebrovascular function. *Nutrients*. 2018;10(12):1852. <https://doi.org/10.3390/nu10121852>
24. Li R-L, Wang L-Y, Liu S, Duan H-X, Zhang Q, *et al.* Natural flavonoids derived from fruits are potential agents against atherosclerosis. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:862277. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.862277>
25. Martiniakova M, Babikova M, Mondockova V, Blahova J, Kovacova V, *et al.* The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis. *Nutrients*. 2022;14(3):523. <https://doi.org/10.3390/nu14030523>
26. Xiong H-H, Lin S-Y, Chen L-L, Ouyang K-H, Wang W-J. The interaction between flavonoids and intestinal microbes: A review. *Foods*. 2023;12(2):320. <https://doi.org/10.3390/foods12020320>
27. Martins T, Barros AN, Rosa E, Antunes L. Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. *Molecules*. 2023;28(14):5344. <https://doi.org/10.3390/molecules28145344>
28. Crupi P, Faienza MF, Naeem MY, Corbo F, Clodoveo ML, *et al.* Overview of the potential beneficial effects of carotenoids on consumer health and well-being. *Antioxidants*. 2023;12(5):1069. <https://doi.org/10.3390/antiox12051069>
29. Ebrahimi P, Shokramraji Z, Tavakkoli S, Mihaylova D, Lante A. Chlorophylls as natural bioactive compounds existing in food by-products: A critical review. *Plants*. 2023;12(7):1533. <https://doi.org/10.3390/plants12071533>
30. Johra FT, Bepari AK, Bristy AT, Reza HM. A mechanistic review of  $\beta$ -carotene, lutein, and zeaxanthin in eye health and disease. *Antioxidants*. 2020;9(11):1046. <https://doi.org/10.3390/antiox9111046>
31. Lenis-Rojas OA, Robalo MP, Tomaz AI, Carvalho A, Fernandes AR, *et al.* Ru<sup>II</sup>(*p*-cymene) compounds as effective and selective anticancer candidates with no toxicity in vivo. *Inorganic Chemistry*. 2018;57(21):13150–13166. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b01270>
32. Du Y, Luan J, Jiang RP, Liu J, Ma Y. Myrcene exerts anti-asthmatic activity in neonatal rats via modulating the matrix remodeling. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2020;34:1–10. <https://doi.org/10.1177/2058738420954948>
33. Кригер О. В., Шепель, Е. И. Влияние способа получения экстрактов цветков бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.) на содержание биологически активных веществ и антимикробную активность. *Food Metaengineering*. 2024. Т. 2. № 2. С. 22–34. [Kriger OV, Shepel EI. The effect of the preparation method on the content of biologically active substances and antimicrobial activity of extracts of marigold flowers (*Tagetes patula* L.). *Food Metaengineering*. 2024;2(2):22–34. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.49>
34. Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю. и др. Изотопная масс-спектрометрия как инструмент идентификации томатов (*Solanum lycopersicum* L.). *Техника и технология пищевых продуктов*. 2023. Т. 53. № 3. С. 612–620. [Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Sviridov DA, Ganin MYu, *et al.* Isotope mass spectrometry as a tool for identifying organic tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):612–620. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461>
35. Wang C, Li M, Duan X, Abu-Izneid T, Rauf A, *et al.* Phytochemical and nutritional profiling of tomatoes; Impact of processing on bioavailability – A comprehensive review. *Food Reviews International*. 2022;39(8):5986–6010. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2097692>
36. Jäpelt RB, Silvestro D, Smedsgaard J, Jensen PE, Jakobsen J. Quantification of vitamin D<sub>3</sub> and its hydroxylated metabolites in waxy leaf nightshade (*Solanum glaucophyllum* Desf.), tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*. 2012;138(2–3):1206–1211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.064>
37. Aburjai T, Al-Khalil S, Abuirjeie M. Vitamin D<sub>3</sub> and its metabolites in tomato, potato, egg plant and zucchini leaves. *Phytochemistry*. 1998;49(8):2497–2499. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00246-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00246-5)
38. Chen X, Dai X, Liu Y, Yang Y, Yuan L, *et al.* *Solanum nigrum* Linn.: An insight into current research on traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*. 2022;13:918071. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.918071>
39. Ostreikova TO, Kalinkina OV, Bogomolov NG, Chernykh IV. Glycoalkaloids of plants in the family Solanaceae (nightshade) as potential drugs. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022;56(7):948–957. <https://doi.org/10.1007/s11094-022-02731-x>

40. Кузьмичева Н. А. Фитохимический анализ семян пажитника сенного. Вестник фармации. 2017. № 2. С. 23–31. [Kuzmichova NA. Phytochemical analysis of fenugreek seeds. Pharmacy Bulletin. 2017;(2):23–31. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZEWGHF>
41. Butnariu M. Methods of analysis (extraction, separation, identification and quantification) of carotenoids from natural products. Journal of Ecosystem & Ecography. 2016;6(2):100193 <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000193>
42. Работягов В. Д., Палий А. Е., Федотова И. А. Изучение биологически активных веществ у лавандина (*Lavandula x intermedia emeric ex Loisel*). Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2018. № 126. С. 55–61. [Rabotyagov VD, Paliy AE, Fedotova IA. Study of biologically active substances of *Lavandula x intermedia emeric ex Loisel*. Bulletin of SNBG. 2018;(126):55–61. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.126.2018.08>
43. Воробьева Е. Е., Минина В. И., Соболева О. О., Милентьева И. С., Неверова О. А. Создание функционального творожного продукта с добавлением нетрадиционного сырья. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 4. С. 80–88. [Vorobevee EE, Minina VI, Soboleva OA, Milentyeva IS, Neverova OA. Creation of a functional curd product with the addition of non-traditional raw materials. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022;84(4):80–88. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-80-88>
44. Lakshmidhevi N, Priyadarshini MR. Evaluation of phytochemicals and validation of antioxidant potential of wild solanum species from Mysore District, Karnataka, India. International Journal of Pharmacy and Biological Sciences-IJPBSTM. 2022;12(4):141–155.
45. Nawrocka J, Szymczak K, Skwarek-Fadecka M, Małolepsza U. Toward the analysis of volatile organic compounds from tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) treated with *Trichoderma virens* or/and *Botrytis cinerea*. Cells. 2023;12(9):1271. <https://doi.org/10.3390/cells12091271>
46. Arafa RA, Kamel SM, Taher DI, Solberg SØ, Rakha MT. Leaf extracts from resistant wild tomato can be used to control late blight (*Phytophthora infestans*) in the cultivated tomato. Plants. 2022;11(14):1824. <https://doi.org/10.3390/plants11141824>
47. Agho CA, Runno-Paurson E, Tähtjärv T, Kaurilind E, Niinemets Ü. Variation in leaf volatile emissions in potato (*Solanum tuberosum*) cultivars with different late blight resistance. Plants. 2023;12(11):2100. <https://doi.org/10.3390/plants12112100>
48. Cara N, Piccoli PN, Bolcato L, Marfil CF, Masuelli RW. Variation in the amino acids, volatile organic compounds and terpenes profiles in induced polyploids and in *Solanum tuberosum* varieties. Phytochemistry. 2020;180:112516. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112516>
49. Aburjai TA, Oun IM, Auzi AA, Hudaib MM. Volatile oil constituents of fruits and leaves of *Solanum nigrum* L. growing in Libya. Journal of Essential Oil-Bearing Plants. 2014;17(3):397–404. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.895194>
50. Yamashita H. Biological function of acetic acid-improvement in obesity and glucose tolerance by acetic acid in type 2 diabetic rats. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(1):171–175. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1045966>
51. Cortesia C, Vilchêze C, Bernut A, Contreras W, Gómez K, et al. Acetic acid, the active component of vinegar, is an effective tuberculocidal disinfectant. mBio. 2014;5(2):e00013-14. <http://dx.doi.org/10.1128/mBio.00013-14>
52. Seki T, Morimura S, Tabata S, Tang Y, Shigematsu T, et al. Antioxidant activity of vinegar produced from distilled residues of the Japanese liquor shochu. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008;56(10):3785–3790. <https://doi.org/10.1021/jf073040w>
53. Masyita A, Mustika SR, Dwi AA, Yasir B, Rumata NR, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. Food Chemistry: X. 2022;13:100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
54. Islam MT, Ali ES, Uddin SJ, Shaw S, Islam MdA, et al. Phytol: A review of biomedical activities. Food and Chemical Toxicology. 2018;121:82–94. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.032>
55. Aparna V, Dileep KV, Mandal PK, Karthe P, Sadasivan Ch, et al. Anti-inflammatory property of n-hexadecanoic acid: Structural evidence and kinetic assessment. Chemical Biology & Drug Design. 2012;80(3):434–439. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2012.01418.x>
56. Bermúdez MA, Pereira L, Fraile C, Valerio L, Balboa MA, et al. Roles of palmitoleic acid and its positional isomers, hypogeic and sapienic acids, in inflammation, metabolic diseases and cancer. Cells. 2022;11(14):2146. <https://doi.org/10.3390/cells11142146>
57. Takahashi H, Kamakari K, Goto T, Hara H, Mohri S, et al. 9-Oxo-10(E),12(Z),15(Z)-octadecatrienoic acid activates peroxisome proliferator-activated receptor  $\alpha$  in Hepatocytes. Lipids. 2015;50(11):1083–1091. <https://doi.org/10.1007/s11745-015-4071-3>
58. Zhong N, Han P, Wang Y, Zheng C. Associations of polyunsaturated fatty acids with cardiovascular disease and mortality: A study of NHANES database in 2003–2018. BMC Endocrine Disorders. 2023;23(1):185. <https://doi.org/10.1186/s12902-023-01412-4>



59. Li L, Wang P, Jiao X, Qin S, Liu Zh, *et al.* Fatty acid esters of hydroxy fatty acids: A potential treatment for obesity-related diseases. *Obesity Reviews*. 2024;25(6):e13735. <https://doi.org/10.1111/obr.13735>
60. Mlynarska E, Hajdys J, Czarnik W, Fularski P, Leszto K, *et al.* The role of antioxidants in the therapy of cardiovascular diseases – A literature review. *Nutrients*. 2024;16(16):2587. <https://doi.org/10.3390/nu16162587>
61. Taie H, Abd-Alla HI, Ali S, Aly HH. Chemical composition and biological activities of two *Solanum tuberosum* cultivars grown in Egypt. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2015;7(6):311–320.
62. Lee KJ, Lee G-A, Ma K-H, Raveendar S, Cho Y-H, *et al.* Chemical constitutions and antioxidant activities of tomato leaf extracts. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2016;4:362–372. <https://doi.org/10.9787/PBB.2016.4.3.362>
63. Kudale S, Ghatge S, Shivekar A, Sule C, Desai N. Comparative study of antioxidant potential in hairy roots and field grown roots of *Solanum nigrum* L. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2016;5(8):42–54. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.005>
64. Vázquez-Lorente H, Herrera-Quintana L, Jiménez-Sánchez L, Fernández-Perea B, Plaza-Díaz J. Antioxidant functions of vitamin D and CYP11A1-derived vitamin D, tachysterol, and lumisterol metabolites: Mechanisms, clinical implications, and future directions. *Antioxidants*. 2024;13(8):996. <https://doi.org/10.3390/antiox13080996>
65. Brancaccio M, Mennitti C, Cesaro A, Fimiani F, Vano M, *et al.* The biological role of vitamins in athletes' muscle, heart and microbiota. *International Journal of Environmental Research Public Health*. 2022;19(3):1249. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031249>