

УДК 634.71:581.192

ВИТАМИННАЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ ЦЕННОСТЬ ПЛОДОВ МАЛИНЫ (*RUBUS IDAEUS L.*) (ОБЗОР)

© М.Ю. Акимов, Е.В. Жбанова*, Т.В. Жидехина

Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, ул. Мичурина, 30,
Мичуринск, 393774, Россия, shbanovak@yandex.ru

Исследование было направлено на обзор отечественных и зарубежных публикаций и интернет-ресурсов, отражающих современные сведения по витаминному составу и антиоксидантной ценности плодов малины. Согласно информации в различных международных базах данных, содержание аскорбиновой кислоты в плодах малины составляет в среднем 24.4 ± 0.9 мг/100 г, варьируя в пределах от 13.6 мг/100 г до 32.0 мг/100 г. Исходя из физиологической потребности в аскорбиновой кислоте (100 мг/сутки), потребление порции плодов малины (100 г) покрывает суточную потребность в данном биологически активном соединении на 24.4%. Полученный расчетный средний уровень содержания фолиевой кислоты составил 37.6 мкг/100 г. Таким образом, плоды малины (100 г) способны удовлетворить суточную потребность в фолиевой кислоте (400 мкг) на 9.4%.

Суммарное содержание антиоцианов в красной малине, как правило, составляет менее 100 мг/100 г сырого веса, независимо от используемого метода или анализируемого сорта. В красной малине обнаружено одиннадцать антиоцианов, основными являются цианидин-3-софорозид и цианидин 3-(2-глюкозилрутинозид).

Примерно 50% суммарной антиоксидантной активности плодов малины обусловлено присутствием эллаготанинов, 20% – витамина С, 25% – антиоцианов. Представленные результаты могут стать важным ориентиром в селекции малины на повышение пищевой и антиоксидантной ценности плодов, а также их промышленного и коммерческого использования.

Ключевые слова: малина, витамины, фенольные вещества, антиоцианы, антиоксидантная активность.

Для цитирования: Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Жидехина Т.В. Витаминная и антиоксидантная ценность плодов малины (*Rubus idaeus L.*) (обзор) // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 43–59. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315732>.

Введение

Благодаря современным достижениям в области медицины и диетологии и пропаганде здорового образа жизни, натуральные продукты, способствующие укреплению здоровья (в том числе плоды и ягоды), привлекают большое внимание как специалистов в области здравоохранения, пищевой индустрии, так и обычного населения [1–6]. Среди видов *Rubus* spp. малина обыкновенная (*Rubus idaeus L.*) является важной коммерческой ягодной культурой, продукция которой используется в свежем и замороженном видах, в производстве соков, концентратов, джемов, желе, мороженого и т.д. По производству плодов малины (по данным на 2021 г.) лидируют: Российская Федерация (23.2% мирового производства), Сербия (13.0%), Польша (12.2%), Мексика (19.5%) и США (9.5%) [7].

Помимо приятного вкуса и аромата плоды малины представляют большую пользу для здоровья человека благодаря содержащимся в них витаминам, пищевым волокнам, минеральным и другим ценным соединениям [8–11]. В среднем в 250 г плодов малины содержится 54% рекомендуемой суточной нормы витамина С, 12% витамина К, 6% фолиевой кислоты [12]. Исследования фитотерапевтического потенциала плодов малины показали их антиканцерогенные, противоопухолевые, противомикробные, антидиабетические, противовоспалительные, нейропротекторные свойства [12–21].

Учитывая растущий интерес к витаминам и другим микронутриентам плодов и ягод, анализ и сопоставление данных по витаминному и полифенольному профилям плодов малины представляется актуальным.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Цель настоящего исследования – обобщение большого массива информации отечественных и зарубежных исследований по витаминной и антиоксидантной ценности плодов малины для уточнения их статуса в рационе человека.

Витаминный профиль плодов малины

Витамины обладают исключительно высокой биологической активностью и требуются организму в небольших количествах (от нескольких мкг до десятков мг), т.е. являются минорными компонентами пищи (микронутриенты). Рацион современного человека, составленный из натуральных продуктов, вполне адекватный энергетическим затратам и даже иногда избыточный по калорийности, полностью удовлетворяющий потребность в белках, жирах и углеводах, не способен обеспечить организм необходимым ему количеством витаминов [22].

Согласно таблицам международных баз данных по составу пищевых продуктов [23], составлен витаминный профиль плодов малины (табл. 1). На основе обобщения представленной в таблице 1 информации рассчитаны статистические показатели (среднее, стандартная ошибка, интервалы варьирования) содержания витаминов в плодах малины, а также отражены нормативы суточной потребности в витаминах, принятые в Российской Федерации и ЕС (табл. 2). Как правило, при установлении критерииев, что представляет собой «значительное» количество какого-либо витамина, принимается во внимание 15% от рекомендуемой суточной нормы. Как следует из таблицы 2, рекомендуемые величины суточного потребления (RDA) несколько ниже принятых в Российской Федерации.

Тиамин (витамин B₁). Как показывают зарубежные базы данных по химическому составу, содержание витамина B₁ в ягодах малины невысокое – в среднем 0.03 ± 0.003 мг/100 г (табл. 2). Наибольшее содержание (0.09 мг/100 г) отмечено в «Данных о составе продуктов питания в Нидерландах». Согласно информации российских исследователей [24], содержание данного витамина в плодах малины составляет 0.02 мг/100 г. Проведенные на базе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» исследования по содержанию тиамина в плодах и ягодах российской селекции, показали содержание данного витамина в плодах малины в количестве 0.020 ± 0.003 мг/100 г [25]. Установлено, что потребность в тиамине зависит от потребления углеводов и энергии, в связи с чем рекомендуемое потребление тиамина соотносят с энергетическими затратами. Физиологическая потребность для взрослых – 1.5 мг/сутки или 0.6 мг/1000 ккал. Физиологическая потребность для детей – от 0.3 до 1.5 мг/сутки [26].

Рибофлавин (витамин B₂). При обобщении информации по содержанию рибофлавина получено среднее значение для плодов малины 0.04 ± 0.004 мг/100 г с варьированием от 0.01 мг/100 г («Данные о составе пищевых продуктов в Новой Зеландии»; Великобритания, Интегрированный набор данных Мак-кэнса и Уиддоусона «Состав пищевых продуктов») до 0.09 мг/100 г (Сингапур, «Энергетический и питательный состав продуктов питания»). По данным российских исследователей, содержание рибофлавина в плодах малины оценивается в количестве 0.05 мг/100 г [24]. Проведенные на базе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» исследования по содержанию рибофлавина в плодах и ягодах российской селекции показали уровень накопления данного витамина в плодах малины в количестве 0.034 ± 0.005 мг/100 г [25]. Установленная в Российской Федерации физиологическая потребность в данном витамине для взрослых – 1.8 мг/сутки, или 0.75 мг/1000 ккал; для детей – от 0.4 до 1.8 мг/сутки [26].

Ниацин (витамин PP, B₃). Витамин PP представлен витамерами – никотиновой кислотой и никотинамидом. Средний уровень содержания ниацина в плодах малины согласно международным базам данных – 0.53 ± 0.03 мг/100 г с варьированием в пределах 0.30–0.80 мг/100 г. По данным российских ученых, среднее содержание ниацина в плодах малины – 0.70 мг/100 г [24]. Потребность в ниацине зависит от затрат энергии. Физиологическая потребность для взрослых – 20 мг НЭ^{*}/сутки или 8 мг НЭ/1000 ккал; для детей – от 5 до 20 мг НЭ/сутки [26].

Пантотеновая кислота (B₅). Содержание пантотеновой кислоты в плодах малины составляет в среднем 0.41 ± 0.05 мг/100 г, варьируя в пределах от 0.24 мг/100 г («База данных о составе пищевых продуктов для эпидемиологических исследований в Италии»; «Данные о составе пищевых продуктов в Новой Зеландии») до 0.85 мг/100 г («Таблица состава французских продуктов питания»). Физиологическая потребность для взрослых – 5 мг/сутки; для детей – от 1.0 до 5.0 мг/сутки [26].

* Ниациновый эквивалент (НЭ), показывает содержание ниацина (витамина PP) в продукте и ниацина, образующегося в организме из триптофана (60 мг триптофана в рационе эквивалентны 1 мг ниацина).

Таблица 1. Витаминный профиль плодов малины согласно международным базам данных [23–25]

Витамины, содержание в 100 г плодов											Страна / источник
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0.02	0.05	0.70	...	...	...	...	25.0	0.60	200	...	Российская Федерация
<u>0.03</u>	<u>0.04</u>	<u>0.60</u>	<u>0.33</u>	<u>0.06</u>	<u>3.43</u>	<u>21.0</u>	<u>26.2</u>	<u>2.52</u>	<u>12</u>	<u>7.8</u>	США
0.01– 0.06	0.02– 0.06	0.40– 0.92	0.20– 0.48	0.04– 0.07	0.00– 7.10	7.0– 41.0	11.2– 37.0		0– 42	6.2– 9.9	Центр продовольственных данных Министерства сельского хозяйства США (USDA Food Data Central)
0.03	0.04	0.60	0.33	0.06	...	21.0	26.2	3.39	12	7.8	Канада
0.04	0.03	0.30	0.36	0.05	5.20	34.0	29.0	0.70	28	...	Национальная база данных Канады по составу пищевых продуктов
0.02	0.04	<u>0.38</u> 0.29– 0.49	<u>0.49</u> 0.25– 0.78	<u>0.04</u> 0.03– 0.05	<u>3.71</u> 2.82– 4.95	<u>20.2</u> 16.6– 25.6	<u>21.6</u> 15.5– 26.3	<u>1.19</u> 0.53– 1.70	...	<u>1.3</u> 0.9– 2.2	Австралия
0.01	0.02	0.40	...	0.04	...	28.0	17.0	1.70	3	...	База данных продуктов питания, добавок и питательных веществ (AUSNUT)
0.02	0.02	0.35	0.85	0.03	...	<u>38.1</u> 7.0– 41.0	18.7	0.88	100	5.0	Дания
0.05	0.02	0.50	0.24	0.06	1.90	33.0	25.0	0.48	78	7.8	Франция
<u>0.01</u> 0.01– 0.02	<u>0.03</u> 0.03– 0.04	<u>0.47</u> 0.39– 0.61	...	<u>0.03</u> 0.01– 0.06	...	<u>20.6</u> 12.4– 30.7	–	<u>105</u> 85– 125	...	...	АНSES-CIQUAL Таблицы состава французских продуктов питания
0.02	0.04	0.43	0.41	0.05	...	25.5	20.7	0.65	28	...	Италия
0.03	0.02	0.80	...	0.05	...	33.0	30.0	0.20	10	...	База данных о составе пищевых продуктов для эпидемиологических исследований в Италии (BDA)
<u>0.01</u> 0.01– 0.02	<u>0.03</u> 0.03– 0.04	<u>0.47</u> 0.39– 0.61	...	<u>0.03</u> 0.01– 0.06	...	<u>20.6</u> 12.4– 30.7	–	<u>105</u> 85– 125	...	...	Турция
0.02	0.04	0.43	0.41	0.05	...	25.5	20.7	0.65	28	...	База данных о составе турецких продуктов питания
0.02	0.04	0.43	0.41	0.05	...	25.5	20.7	0.65	28	...	Швейцария
0.03	0.02	0.80	...	0.05	...	33.0	30.0	0.20	10	...	Швейцарская база данных о составе пищевых продуктов; Федеральное управление общественного здравоохранения
0.03	0.02	0.80	...	0.05	...	33.0	30.0	0.20	10	...	Швейцарии
0.03	0.02	0.80	...	0.05	...	33.0	30.0	0.20	10	...	Португалия
0.03	0.02	0.80	...	0.05	...	33.0	30.0	0.20	10	...	Таблицы состава продуктов питания

Окончание таблицы 1

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
0.09	0.06	0.30	...	0.06	...	33.0	32.0	0.50	18	7.8	<i>Нидерланды</i> Данные о составе продуктов питания в Нидерландах
0.03	0.06	...	...	...	...	...	24.3	0.87	16	...	<i>Чехия</i> Чешская база данных по составу пищевых продуктов
0.03	0.06	0.36	0.30	0.49	...	152.6	24.3	2.40	99	...	<i>Словакия</i> Словацкая онлайн-база данных о составе пищевых продуктов
0.03	0.04	0.60	0.33	0.06	...	21.0	26.2	...	12	...	<i>Южная Корея</i> Корейская стандартная таблица состава продуктов питания
0.03	0.04	0.60	...	0.06	...	21.0	26.2	0.87	...	...	<i>Бразилия</i> Бразильская таблица пищевого состава (ТВСА). Университет Сан-Паулу (USP). Центр пищевых исследований (ForRC)
0.03	0.04	0.80	...	0.06	...	40.0	25.0	0.20	...	...	<i>Испания</i> Таблицы состава продуктов питания (2010 г.); Таблицы состава пищевых продуктов CESNID
0.00	0.01	0.50	0.24	0.06	1.90	33.0	13.6	0.35	0	...	<i>Новая Зеландия</i> Данные о составе пищевых продуктов в Новой Зеландии
0.03	0.05	0.50	...	...	...	...	32.0	...	...	...	<i>Бахрейн</i> Таблицы состава пищевых продуктов для Королевства Бахрейн
0.01	0.01	0.50	0.73	0.11	1.60	55.0	19.0	0.82	6	...	<i>Великобритания</i> Интегрированный набор данных Маккэнса и Уиддоусона «Состав пищевых продуктов»
0.03	0.09	...	...	...	...	...	25.0	...	39	...	<i>Сингапур</i> Энергетический и питательный состав продуктов питания
0.02	0.04	0.60	0.43	0.07	...	38.0	22.0	4.4	29	...	<i>Япония</i> Стандартные таблицы состава продуктов питания Японии
...	...	0.80	...	...	...	...	30.0	...	...	...	<i>Непал</i> Таблицы состава продуктов питания для Непала
...	...	0.60	0.30	0.10	2.0	30.0	25.0	0.70	...	10.0	<i>Австрия</i> Австрийская таблица состава пищевых продуктов

Таблица 2. Содержание витаминов в плодах малины в связи с нормами потребления

Витамин / содержание в 100 г плодов	Среднее, мг	Стандартная ошибка, м	Минимум-максимум	Суточная физиологическая потребность, взрослые/дети [26]	Рекомендуемая суточная норма (RDA) [31]
Тиамин (B ₁), мг	0.03	0.003	0.01–0.09	1.5 0.3–1.5	1.1
Рибофлавин (B ₂), мг	0.04	0.004	0.01–0.09	1.8 0.4–1.8	1.4
Ниацин (PP, B ₃), мг	0.53	0.03	0.30–0.80	20 5–20	16.0
Пантотеновая кислота (B ₅), мг	0.41	0.05	0.24–0.85	5.0 1.0–5.0	...
Пиридоксин (B ₆), мг	0.08	0.02	0.03–0.49	2.0 0.4–2.0	1.4
Биотин, (B ₇), мкг	2.82	0.50	1.60–5.20	50 10–50	50
Фолиевая кислота, (B ₉), мкг	37.6	7.1	20.2–152.6	400 50–400	200
Аскорбиновая кислота (C), мг	24.4	0.9	13.6–32.0	100 30–90	80
Токоферол, (E), мг	1.23	0.26	0.20–4.40	15 3–15	12
β-каротин, мкг	46.8	12.8	3.0–200.0	5000...	...
Филлохинон (K ₁), мкг	6.8	1.1	1.3–10.0	120 30–120	75

Пиридоксин (B₆). Витамин B₆ – термин, обозначающий группу родственных соединений, производных 3-окси-2-метилпиридинина, обладающих биологической активностью пиридоксина. Пиридоксин, пиридоксаль и пиридоксамин обладают одинаковой витаминной активностью [24]. Уровень содержания витамина B₆ в плодах малины в среднем составляет 0.08±0.02 мг/100 г, варьируя, согласно различным базам данных, в интервале от 0.03 мг/100 г («Таблица состава французских продуктов питания»; Турция, «База данных о составе турецких продуктов питания») до 0.49 мг/100 г («Словацкая онлайн-база данных о составе пищевых продуктов»). Физиологическая потребность в данном витамине для взрослых – 2.0 мг/сутки, для детей – от 0.4 до 2.0 мг/сутки [26].

Биотин (B₇). Согласно информации международных баз данных, содержание биотина в плодах малины составило в среднем 2.82±0.50 мкг/100 г, варьируя в пределах 1.60–5.20 мкг/100 г. Физиологическая потребность для взрослых в данном витамине – 50 мкг/сутки, для детей – от 10 до 50 мкг/сутки [26]. Таким образом, употребление порции (100 г) плодов малины покрывает суточную потребность в биотине на 6.5%.

Фолиевая кислота (B₉). Для плодов малины полученный расчетный средний уровень содержания фолиевой кислоты составил 37.6±7.1 мкг/100 г, изменяясь от 20.2 мкг/100 г (Дания, «Данные о продуктах питания») до 152.6 мкг/100 г («Словацкая онлайн-база данных о составе пищевых продуктов») (табл. 1). В Германии выявлено содержание фолиевой кислоты в плодах малины на уровне 30.0 мкг/100 г [27]. Физиологическая потребность в данном витамине для взрослых – 400 мкг/сутки; для детей – от 50 до 400 мкг/сутки [26]. Таким образом, плоды малины (100 г) способны удовлетворить суточную потребность в фолиевой кислоте на 9.4%.

Аскорбиновая кислота – незаменимый водорастворимый витамин с отличными восстановительными свойствами, хорошо известный своей высокой антиоксидантной активностью благодаря нейтрализации свободных радикалов и других активных форм кислорода, образующихся в результате клеточного метаболизма [28, 29]. Активностью витамина С обладают L-аскорбиновая кислота и продукт ее обратимого окисления – L-дегидроаскорбиновая кислота. По сообщению В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка [30], недостаток аскорбиновой кислоты характерен для значительной части (10–30%) взрослого и детского населения РФ, особенно в зимне-весенний период года, что обусловлено недостаточным и нерегулярным потреблением зелени, свежих овощей и фруктов. Согласно информации в различных международных базах данных, содержание аскорбиновой кислоты в плодах малины составляет в среднем 24.4±0.9 мг/100 г, варьируя в пределах от 13.6 мг/100 г («Данные о составе пищевых продуктов в Новой Зеландии») до 32.0 мг/100 г («Таблицы состава пищевых продуктов для Королевства Бахрейн»; «Данные о составе продуктов питания в Нидерландах»). Определенное российскими исследователями [24] среднее содержание аскорбиновой кислоты в плодах

малины составляет 25.0 мг/100 г и согласуется с расчетным значением из международных баз данных. В базах данных продуктов питания США, Канады, Дании, Южной Кореи, Бразилии средний уровень содержания аскорбиновой кислоты в плодах малины отмечен на уровне 26.2 мг/100 г. Рекомендуемая европейская дневная норма потребления (RDA) для аскорбиновой кислоты составляет 80 мг [31]. Согласно утвержденным в Российской Федерации Методическим рекомендациям [26], физиологическая потребность в аскорбиновой кислоте для взрослого населения составляет 100 мг/сутки, для детей – от 30 до 90 мг/сутки. Исходя из рассчитанных средних значений (24.4 мг/100 г), потребление порции плодов малины (100 г) покрывает суточную потребность в данном биологически активном соединении на 24.4%.

Токоферол (витамин Е). Витамин Е представлен группой токоферолов (α -, β -, γ -, δ -токоферолы) и токотриенолов (α -, β -, γ -, δ -токотриенолы), обладающих антиоксидантными свойствами. Установлено, что α -токоферол обладает более высокой активностью витамина Е, чем γ - и δ -токоферолы [32]. Среднее содержание витамина Е в плодах малины составило 1.23 ± 0.26 мг/100 г, варьируя от 0.20 мг/100 г (Португалия «Таблицы состава продуктов питания»; «Испания «Таблицы состава продуктов питания») до 4.40 мг/100 г (Япония «Стандартные таблицы состава продуктов питания Японии»). Согласно информации базы данных по пищевым продуктам США [33], содержание отдельных групп токоферола в плодах малины составляет (мг/100 г): α -токоферола – 0.87; β -токоферола – 0.06; γ -токоферола – 1.42; δ -токоферола – 1.04. По данным российских исследователей [24], содержание витамина Е в плодах малины составляет 0.60 ТЕ* на 100 г. Согласно проведенным на базе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» исследованиям по содержанию витамина Е в плодах и ягодах российской селекции, уровень содержания данного витамина в плодах малины составляет 0.32 ± 0.05 ТЭ/100 г, превосходя такие культуры как вишня, слива, жимолость [34].

Каротиноиды. Каротиноиды – оранжевые и желтые пигменты, находящиеся в хлоропластах и хромопластах и относящиеся к тетратерпенам. В природе идентифицировано более 850 разновидностей каротиноидов. В растениях обычно присутствуют две группы – каротины и ксантофиллы (в отличие от каротинов содержат кислород). По распространенности и валовой продукции в природе каротиноиды среди естественных пигментов, несомненно, занимают лидирующую позицию, а по своей антиоксидантной активности превосходят традиционные антиоксиданты – аскорбаты и токоферолы в десятки и сотни раз [1, 35]. β -каротин является провитамином А и обладает антиоксидантными свойствами; 6 мкг β -каротина или 12 мкг β -каротина из пищи эквивалентны 1 мкг витамина А. Физиологическая потребность для взрослых – 5 мг/сутки [26]. Содержание β -каротина в плодах малины составило в среднем 46.8 ± 12.8 мкг/100 г с варьированием от 3 мкг/100 г (Норвегия «Таблицы состава норвежских продуктов питания») до 200 мкг/100 г (Химический состав и калорийность российских продуктов питания). Согласно информации базы данных по пищевым продуктам США [33], в плодах малины содержится 12 мкг/100 г α -каротина, 12 мкг/100 г β -каротина, 136 мкг/100 г лютеина и зеаксантина. По сообщению итальянских исследователей [32], плоды малины содержат 1.6–2.9 мг/кг лютеина, 4.3–6.9 мг/кг этирифицированного лютеина и 0.02–0.07 мг/кг зеаксантина. Болгарскими исследователями [36] в плодах малины идентифицированы лютеин (3.2 мг/кг), зеаксантин (0.11 мг/кг), β -криптоксантин (0.059 мг/кг), α -каротин (0.24 мг/кг), β -каротин (0.093 мг/кг). Важность каротиноидных пигментов наиболее очевидна в желтой малине, где отсутствуют красно-фиолетовые антоциановые пигменты. Хотя каротиноидные красители обычно маскируются антоцианами, они усиливают аромат малины за счет образования соединений, известных как иононы и дамаскеноны [12].

Филлохиноны (витамин К₁, фитоменадион) синтезируются в мембранах хлоропластов. Среднее, рассчитанное согласно международным базам данных, содержание филлохинона в плодах малины составило 6.8 ± 1.1 мкг/100 г, изменяясь от 1.3 (Дания «Данные о продуктах питания») до 10.0 мкг/100 г (Япония «Стандартные таблицы состава продуктов питания Японии»). По установленным в Российской Федерации нормам потребления витаминов, физиологическая потребность для взрослых в филлохиноне составляет 120 мкг/сутки, для детей – от 30 до 120 мкг/сутки [26].

Фенольный профиль плодов малины

При определении витаминной и антиоксидантной ценности плодов малины особая роль принадлежит фенольным соединениям, проявляющим сильные антиоксидантные свойства [27, 36–38]. Наглядно фенольный профиль плодов малины представлен в таблице 3 [20, 39]. Двумя доминирующими группами фенолов

* Витамин Е эквивалент (токоферол эквивалент) (ТЭ), учитывает всю группу токофероловых соединений (4 токоферола и 4 токотриенола), объединенных общим названием «витамин Е». Для получения этого показателя используются следующие коэффициенты пересчета: (α -токоферол – 1.0; β -токоферол – 0.4; γ -токоферол – 0.1; δ -токоферол – 0.01; α -токотриенол – 0.3; β -токотриенол – 0.05; γ - и δ -токотриенолы – 0.01).

в малине являются антоцианы и эллаготанины, на долю которых приходится от общего содержания 42 и 57% соответственно [16, 19, 40–42]. Мексиканскими исследователями [43] фенольные соединения, присутствующие в плодах малины, расположены в порядке убывания: эллаговая кислота > галловая кислота > хлорогеновая кислота > кофейная кислота > *n*-кумаровая кислота > катехин > рутин > кверцетин-3- β -D-глюкозид > протокатеховая кислота > кверцетин-3-глюкуронид > гидроксибензойная кислота.

Производные эллаговой кислоты в красной малине находятся в трех различных формах: в виде эллаготанинов, в которых гексагидроксицифеновая кислота образует сложные эфиры с сахарами, в виде свободной эллаговой кислоты и гликозидов эллаговой кислоты. Основные эллаготанины идентифицированы как димерный сангвиин H-6 и тримерный ламбертианин C. Присутствуют также и другие эллаготанины, такие как мономерный казуариктин, потентиллин, педункулагин, сангвиин H-10, димерный ноботаин A и тетрамерный ламбертианин D. Сообщается, что на сангвиин H-6 приходится 30–45%, а на ламбертианин C – 14% активности по улавливанию радикалов красной малины [21, 44]. Содержание ламбертианина C и сангвиина H-6 в плодах малины составило в среднем 38 мг/100 г и 55 мг/100 г соответственно [19, 40–42]. Уровень свободной эллаговой кислоты и ее гликозидов в малине был значительно ниже по сравнению с эллаготанинами (0.73–1.83 мг/100 г и 42.5–91.3 мг/100 г) [45].

Функционально проантоцианидины признаны новым типом природных антиоксидантов с высокой эффективностью и сильной активностью *in vivo*. Антирадикальная окислительная способность олигомерных проантоцианидинов в 50 раз выше, чем у витамина E, и в 20 раз выше, чем у витамина C [46].

Среди плодовых и ягодных культур важными пищевыми источниками стильбеноидов являются плоды винограда, черешни, голубики, малины. По химическому строению стильбеноиды относятся к группе полифенольных соединений – фенилпропаноидов. Ресвератрол – один из наиболее распространенных представителей группы стильбеноидов, характеризуется сильными антиоксидантными свойствами. Пицейд (ресвератрол-3- β -гликозид) в свою очередь является одним из наиболее широко распространенных производных ресвератрола [47].

Таблица 3. Фенольный профиль плодов красной малины [20, 39]

Класс	Группа	Компонент
Флавоноиды	антоцианидины	цианидин 3-О-глюкозид; цианидин 3-О-глюкозилрутинозид; цианидин 3-О-рутинозид; цианидин 3-О-софорозид; дельфинидин 3-О-глюкозид; мальвидин 3-О-глюкозид; пеларгонидин 3-О-глюкозид; пеларгонидин 3-О-глюкозилрутинозид; пеларгонидин 3-О-рутинозид; пеларгонидин 3-О-софорозид
	флаван-3-олы	(+)-катехин; (-)-эпикатехин
	флавонолы	кемпферол; кемпферол-3-О-глюкозид; кверцетин; кверцетин 3-О-глюкозид; кверцетин-3-глюкуронид; кверцетин 3-О-рутинозид
Фенольные кислоты	гидроксибензойные кислоты	галловая кислота; <i>n</i> -гидроксибензойная кислота
	гидроксикоричные кислоты	<i>n</i> -кумаровая кислота; кофейная кислота; феруловая кислота; синаповая кислота; ванилиновая кислота; коричная кислота
Гидролизуемые танины	эллаготанины	сангвиин H-6; ламбертианин; эллаговая кислота; ацетиларабинозид эллаговой кислоты; ацетилксилозид эллаговой кислоты; арабинозид эллаговой кислоты
Конденсированные танины	проантоцианидины	процианидин; пропеларгонидин

Антоцианы. Антоцианы (от греч. *υθός* (антос) – цветок и *κυανός* (кианос) – синий) составляют самую большую и, вероятно, самую важную группу водорастворимых растительных пигментов. Они относятся к широко распространенной флавоноидной группе полифенолов, ответственных за синюю, фиолетовую и красную окраску многих тканей растений [48, 49]. По сообщениям Smeriglio соавторами [48], среднее потребление антоцианов составляет 12.5 мг/сут. Сообщается о дозировке 65.0 мг/сут. для населения США и Европы. Антоцианы представляют весьма большой интерес в пищевой промышленности, поскольку рассматриваются как потенциальная замена синтетическим пищевым красителям. Они проявляют антиоксидантную активность и инактивирующие свойства против свободных радикалов, что определяет их важность в питании человека как средства, защищающего от ряда заболеваний [16, 50–53]. Их потребление связано с

различными преимуществами для здоровья, такими как противовоспалительные и антиканцерогенные свойства, снижение частоты сердечно-сосудистых заболеваний, борьба с ожирением и смягчение последствий диабета. Исследования *in vitro* выявили определенную потенциальную химиопрофилактическую активность антоцианов против рака [53, 54]. Для исследования химизма антоцианов, благотворного влияния антоцианов плодов и ягод на здоровье человека и в целом возможностей укрепления здоровья путем потребления антоциансодержащих продуктов были разработаны два международных проекта, финансируемых ЕС – FLORA и ATHENA [55, 56].

Как и любая плодовая и ягодная культура, малина отличается своим характерным специфическим антоциановым профилем плодов (табл. 4). В красной малине обнаружено одиннадцать антоцианидинов (не содержащими сахара аналоги антоцианов), основными из которых являются цианидин-3-софорозид и цианидин-3-(2-глюкозилрутинозид) [57]. Основными антоцианидинами, содержащимися в черной малине, являются цианидин-3-рутинозид и цианидин-3-кислозилрутинозид [58]. Норвежские исследователи [59] отмечают, что в красной малине присутствуют только антоцианы цианидинового и пеларгонидинового типов, причем преобладает первый тип. Канадскими исследователями [60] также отмечается, что основными антоцианами, определенными для малины, являются глюкозиды цианидинового происхождения с небольшим содержанием глюкозидов, производных пеларгонидина. По сообщению R. Veberic с соавторами (Словения) [61], в плодах малины на агликоны цианидина приходится 83.8%, пеларгонидина – 16.2%. Китайскими [62] и бразильскими [10] исследователями установлено, что в антоциановом профиле плодов красной малины преобладает цианидин-3-О-софорозид. В работе коллектива авторов (Испания, Италия, США, Великобритания) [63] охарактеризовано содержание антоцианидинов в плодах малины (по мере убывания): цианидин-3-софорозид > цианидин-3-глюкозилрутинозид > цианидин-3-глюкозид > цианидин-3-рутинозид > все пеларгонидиновые гликозиды, вместе взятые. Малина черная обладает более высоким содержанием антоцианов (до 400 мг/100 г), далее следуют малина красная (20–60 мг/100 г), оранжевоплодные (0.3–8.7 мг/100 г) и, наконец, желтоплодные формы [64]. Турецкими исследователями [65] показано, что цианидин-3-софорозид, цианидин-3-самбузиозид, цианидин-3-кислозилрутинозид, цианидин-3-(2G -глюкозилрутинозид), пеларгонидин-3-софорозид, пеларгонидин-3-(2G -гликозилрутинозид), пеларгонидин-3-рутинозид, цианидин, пеларгонидин, цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рутинозид и пеларгонидин-3-глюкозид были основными компонентами антоцианов плодов малины. Канадские исследователи [14] отмечают, что общее содержание антоцианов в красной малине обычно составляет менее 100 мг/100 г сырого веса, независимо от используемого метода или анализируемого сорта, что аналогично другим красным/оранжевым ягодам и фруктам. Темно-синие/красные ягоды, с другой стороны, содержат уровни антоцианов выше 150 мг/100 г. Сербские исследователи [66] отмечают, что гликозиды цианидина составляют большую часть общего содержания антоцианов в красной малине. Вместе с пеларгонидином гликозиды иногда присутствуют в количестве, обычно составляющем менее 2% от общего содержания. Основные группы гликозидов в красной малине включают софорозид, глюкозид, рутинозид и глюкорутинозид.

В.И. Дейнека с соавторами [67] были исследованы антоциановые комплексы плодов малины красной из коллекции Ботанического сада НИУ «БелГУ». Установлено, что антоцианы образованы в основном четырьмя производными цианидина: Cy-3-Glu, Cy-3-Rut, Cy-3-Sopho и Cy-3-(2GluRut), биосинтез которых из Cy-3-Glu обеспечивается двумя ферментами – 2"-глюкозилтрансферазой и 6"-рамнозилтрансферазой, относительная активность которых может быть положена в основу хемосистематики растений по антоцианам.

Антиоксидантная активность плодов малины

Важно отметить, что малина входит в список продуктов с высоким значением ORAC (4882 мкмоль ТЭ/100 г). Известны рекомендации по употреблению продуктов с индексом ORAC от 3000 до 5000 мкмоль ТЭ/100 г в сутки [68]. Суммарное содержание антиоксидантов (CCA) в плодах малины, определенное амперометрическим методом, составило 171 мг/100 г, выше, чем у брусники, крыжовника, облепихи [68]. Антиоксидантная активность плодов малины, измеренная по методу TEAC, составила 4.38 ммоль ТЕ/г, по методу FRAP – 3.08 ммоль Fe²⁺/г, по методу DPPH – 0.60 мг/мл [69]. Исследование суммарного значения антиоксидантной активности плодов малины методом инверсионной потенциометрии показало значение 1.976 ммоль-экв/л, уступая по данному показателю плодам облепихи, смородины черной, вишни [70]. Зарубежными исследователями (Финляндия, Бразилия, Китай, Румыния, Ирландия) приводятся следующие данные

по антиоксидантной активности плодов малины: $107.8 \pm 1.5 - 588.9 \pm 5.5$ мкмоль ТЭ /100 г сухого вещества (по методу DPPH) и $510.9 \pm 5.80 - 1912.0 \pm 1.78$ мкмоль ТЕ /100 г сухого вещества (по методу FRAP) [20, 71].

Литовские исследователи отмечают, что различные части растения малины значительно отличаются по антиоксидантной активности. Соцветия показывают самую высокую антиоксидантную активность (1091.8 мкмоль ТЕ/г сырой массы с использованием метода ABTS; 653.6 мкмоль ТЕ/г сырой массы с использованием метода DPPH). Самая низкая антиоксидантная активность обнаружена в семенах (по методу DPPH – 145.1 мкмоль ТЕ/г сырой массы; по методу FRAP – 127.0 мкмоль ТЕ/г сырой массы). Антиоксидантная активность плодов составляла (мкмоль ТЕ/г сырой массы): 163.1 ± 21.7 – по методу DPPH; 243.4 ± 50.5 – по методу ABTS; 273.9 ± 61.9 – по методу FRAP [72].

Таблица 4. Антоциановый профиль плодов малины [39]

Гликозид антоциана	Сокращенное название	Содержание, мг/100 г свежих плодов		
		среднее (x)	минимальное (min.)	максимальное (max.)
Цианидин <i>cyanidin</i>	Cyd	0.53	0.00	1.30
Цианидин 3-О-глюкозид <i>cyanidin 3-O-glucoside</i>	Cyd-3-glu	14.89	0.00	30.50
Цианидин 3-О-глюкозилрутинозид <i>cyanidin 3-O-glucosyl-rutinoside</i>	Cyd-3-glurut	7.06	0.00	30.86
Цианидин 3-О-рутинозид <i>cyanidin 3-O-rutinoside</i>	Cyd-3-rut	5.20	0.00	28.40
Цианидин 3-О-софорозид <i>cyanidin 3-O-sophoroside</i>	Cyd-3-sop	37.61	0.00	106.23
Дельфинидин 3-О-глюкозид <i>delphinidin 3-O-glucoside</i>	Dpd-3-glu	0.21	0.00	2.98
Мальвидин 3-О-глюкозид <i>malvidin 3-O-glucoside</i>	Mvd-3-glu	0.62	0.00	3.99
Пеларгонидин 3-О-глюкозид <i>pelargonidin 3-O-glucoside</i>	Pgd-3-glu	1.65	0.00	4.87
Пеларгонидин 3-О-глюкозилрутинозид <i>pelargonidin 3-O-glucosyl-rutinoside</i>	Pgd-3-glurut	0.82	0.00	4.22
Пеларгонидин 3-О-рутинозид <i>pelargonidin 3-O-rutinoside</i>	Pgd-3-rut	0.42	0.00	0.85
Пеларгонидин 3-О-софорозид <i>pelargonidin 3-O-sophoroside</i>	Pgd-3-sop	3.46	0.00	11.30

Китайские и японские исследователи [73, 74] сообщают, что антиоксидантная способность плодов красной малины напрямую связана с содержанием следующих фитохимических веществ: суммарным содержанием полифенолов, суммарным содержанием флавоноидов, суммарным содержанием антоцианов. Литовские исследователи [58] считают, что фенольные соединения, отличные от антоцианов, ответственны за большую часть антиоксидантной способности плодов малины. Для ежевики, где антоцианы составляют гораздо более высокий процент от суммы фенольных соединений, наблюдалась сильная корреляция между антиоксидантной активностью и суммарным содержанием антоцианов. Российскими исследователями [75] выявлено, что антиоксидантная активность теснее коррелирует с содержанием общих фенолов (0.88 и 0.92) и флавоноидов (0.76 и 0.88), чем с антоцианами (0.37 и 0.66).

Европейскими исследователями (Италия, Нидерланды, Франция, Австрия, Великобритания) [76, 77] установлено, что общая антиоксидантная способность обусловлена присутствием нескольких классов соединений, таких как витамин С и полифенолы, которые по-разному влияют на здоровье человека. Следовательно, показатели суммарного содержания антиоксидантов (ССА) плодов и ягод не отражают всей картины, и необходимо изучить вклад отдельных соединений. Примерно 50% антиоксидантной активности плодов малины обусловлено присутствием эллаготанинов. Такие известные антиоксиданты, как витамин С и антоцианы вносят меньший вклад (20 и 25% суммарной антиоксидантной активности соответственно). При изучении антиоксидантных свойств плодов представителей рода *Rubus* (малина, ежевика) и *Prunus* (вишня, черешня) хорватскими исследователями было показано, что антоцианы в большей степени способствовали антиоксидантной активности во всех фруктах (90%) – больше, чем флавонолы, флаван-3-олы и фенольные кислоты (10%) [78]. По сообщению турецких исследователей [79], некоторые дикорастущие

образцы красной малины обладают более высокой антиоксидантной способностью и содержанием фитонутриентов, чем культурные сорта. Результаты экспериментов, проведенные американскими исследователями [80], показали, что черная малина и ежевика обладают более высокой антиоксидантной активностью, а земляника, как правило, имеет более низкие значения общего количества антиоксидантов, чем красная малина. Польские исследователи [81] подтверждают, что ежевика характеризуется большей антиоксидантной способностью, чем красная малина.

Испанскими исследователями [82] при анализе антиоксидантных свойств черники, земляники и малины отмечено, что земляника имеет наибольшую потенциальную пользу для здоровья, тогда как малина – значительно меньше: земляника >> черника >> малина. Учитывая изменения, которым подвергаются антиоксиданты сырых фруктов в процессе пищеварения, оценка полезных свойств плодов на основе их антиоксидантного состава и суммарной антиоксидантной емкости не отражает антиоксидантные свойства фруктов после пищеварения («биодоступность»). Вводящие в заблуждение результаты могут быть получены, если генотипы ранжированы по общему антиоксидантному составу и антиоксидантной активности сырых фруктов (т.е. черника >> земляника >> малина). Еще больше расхождений может возникнуть, если значение придается конкретному компоненту полифенольного состава, такому как эллаговая кислота (т.е. черника >> малина >> ежевика).

Таким образом, проведено обобщение большого массива информации отечественных и зарубежных исследований по витаминной и антиоксидантной ценности плодов малины. Согласно обобщенной информации международных баз данных, содержание аскорбиновой кислоты в плодах малины составляет в среднем 24.4 ± 0.9 мг/100 г, варьируя в пределах от 13.6 мг/100 г до 32.0 мг/100 г. Исходя из установленной физиологической потребности в аскорбиновой кислоте (100 мг/сутки), потребление порции плодов малины (100 г) покрывает суточную потребность в данном биологически активном соединении на 24.4%. Полученный расчетный средний уровень содержания фолиевой кислоты составил 37.6 мкг/100 г. Таким образом, плоды малины (100 г) способны удовлетворить суточную потребность в фолиевой кислоте (400 мкг) на 9.4%. Общее содержание антоцианов в красной малине обычно составляет менее 100 мг/100 г сырого веса, независимо от используемого метода или анализируемого сорта. В красной малине обнаружено одиннадцать антоцианов, основными из которых являются цианидин-3-софорозид и цианидин-3-(2-глюкозилрутинозид). Примерно 50% суммарной антиоксидантной активности плодов малины обусловлено присутствием эллаготанинов, 20% – витамина С, 25% – антоцианов. Представленные результаты могут стать важным ориентиром в селекционной работе на повышение пищевой и антиоксидантной ценности плодов малины, а также их промышленного и коммерческого использования.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального научного центра имени И.В. Мичурина. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Gupta Ch., Prakash D., Gupta S. Relationships between Bioactive Food Components and their Health Benefits // Introduction to Functional Food Science Textbook (First edition) Functional Food Science Series. 2013. Pp. 65–85.
2. Manganaris G.A., Goulas V., Vicente A.R., Terry L.A. Berry antioxidants: small fruits providing large benefits // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013. Vol. 94(5). Pp. 825–833. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6432>.
3. Акимов М.Ю., Макаров В.Н., Жбанова Е.В. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 2. С. 56–60. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10214>.
4. Стародубова А.В. Можно ли считать здоровое питание инструментом здоровьесбережения? // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92(2). С. 162–170. <https://doi.org/10.31857/S0869587322020098>.

5. Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Лукьянчук И.В., Гурьева И.В., Лыжин А.С., Дубровская О.Ю. Полиморфизм генетической коллекции ягодных культур семейства Rosaceae по нутриентному составу плодов // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, №10. С. 43–48. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_43.
6. Karaklajić-Stajić Ž., Leposavić A., Milinković M., Paunović S.M., Tomić J. Mineral composition and bioactive potential of red raspberry fruits, juice, and jam // Zemdirbyste-Agriculture. 2023. Vol. 110(3). Pp. 263–270. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.030>.
7. Fresh Raspberry production and top producing countries [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tridge.com/ru/intelligences/raspberry/production>.
8. Jimenez-Garcia S.N., Guevara-Gonzalez R.G., Miranda-Lopez R., Feregrino-Perez A.A., Torres-Pacheco I., Vazquez-Cruz M.A. Functional properties and quality characteristics of bioactive compounds in berries: Biochemistry, biotechnology, and genomics // Food Research International. 2013. Vol. 54(1). Pp. 1195–1207. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.004>.
9. Probst Y. A review of the nutrient composition of selected Rubus berries // Nutrition and Food Science. 2015. Vol. 45(2). Pp. 242–254. <https://doi.org/10.1108/nfs-07-2014-0063>.
10. Schulz M., Chim J.F. Nutritional and bioactive value of Rubus berries // Food Bioscience. 2019. 100438. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>.
11. Buczyński K., Kapłan M., Jarosz Z. Review of the Report on the Nutritional and Health-Promoting Values of Species of the *Rubus* L. Genus // Agriculture. 2024. Vol. 14. 1324. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081324>.
12. Kim M.J., Sutton K.L., Harris G.K. Raspberries and Related Fruits // Encyclopedia of Food and Health. 2016. Pp. 586–591. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00586-9>.
13. Rocabado G.O., Bedoya L.M., Abad M.J., Bermejo P. Rubus – A Review of its Phytochemical and Pharmacological Profile // Natural Product Communications. 2008. Vol. 3(3). Pp. 423–436. <https://doi.org/10.1177/1934578X0800300319>.
14. Rao A.V., Snyder D.M. Raspberries and Human Health: A Review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 58(7). Pp. 3871–3883. <https://doi.org/10.1021/jf903484g>.
15. Lim T.K. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants Vol. 4. Fruits. Springer, 2012. 1038 p.
16. Nile S.H., Park S.W. Edible Berries: Bioactive Components and Their Effect on Human Health // Nutrition. 2014. Vol. 30(2). Pp. 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>.
17. Li J., Du L.-F., He Y., Li Y.-Y., Wang Y.-F., Chai X., Zhu Y., Gao X.-M. Chemical Constituents and Biological Activities of Plants from the Genus *Rubus* // Chemistry & Biodiversity. 2015. Vol. 12(12). Pp. 1809–1847. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201400307>.
18. Baby B., Antony P., Vijayan R. Antioxidant and anticancer properties of berries // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. Pp. 1–17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1329198>.
19. Singh S., Virmani T., Kohli K. Phytochemicals and Medicinal Uses of Red Raspberry: A Review // Journal of Pharmaceutical Research. 2020. Vol. 5(2). Pp. 48–51.
20. Pap N., Fidelis M., Azevedo L., do Carmo M.A.V., Wang D., Mocan A., Pereira E.P.R., Xavier-Santos D., Santana A., Yang B., Granato D. Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 42. Pp. 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
21. Burton-Freeman B.M., Sandhu A.K., Edirisinghe I. Red Raspberries and Their Bioactive Polyphenols: Cardiometabolic and Neuronal Health Links // Advances in Nutrition. 2016. Vol. 7(1). Pp. 44–65. <https://doi.org/10.3945/an.115.009639>.
22. Коденцова В.М. Витамины. М., 2015. 408 с.
23. International Network of Food Data Systems (INFOODS) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/infooods/infooods-tables-and-databases/en>.
24. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М., 2012. 283 с.
25. Акимов М.Ю., Бессонов В.В., Коденцова В.М., Эллер К.И., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Богачук М.Н., Малинкин А.Д., Макаренко М.А., Шевякова Л.В., Перова И.Б., Рылина Е.В., Макаров В.Н., Жидехина Т.В., Кольцов В.А., Юшков А.Н., Новоторцев А.А., Брыксин Д.М., Хромов Н.В. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства // Вопросы питания. 2020. Т. 89, №4. С. 220–232. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>.
26. МР 2.3.1.0253-21. Методические рекомендации «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». М., 2021. 72 с.
27. Strålsjö L. Folates in berries – evaluation of an RPBA method to study the effects of cultivar, ripeness, storage and processing. Doctoral dissertation. Uppsala, 2003. 58 p.
28. Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T., Sochor J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries // International Journal of Molecular Sciences. 2015. Vol. 16(10). Pp. 24673–24706. <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>.
29. Bastias J.M., Cepero Y. Vitamin C as an effective micronutrient in the food fortification // Revista chilena de nutricion. 2016. Vol. 43(1). Pp. 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>.
30. Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитика. М., 2022. 1008 с.

31. Commission Directive 2008/100/EC of 28 October 2008 amending Council Directive 90/496/EEC on nutrition labeling for foodstuffs as regards recommended daily allowance, energy conversion factors and definitions. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/100/oj>.
32. Carvalho E., Fraser P.D., Martens S. Carotenoids and tocopherols in yellow and red raspberries // Food Chemistry. 2013. Vol. 139(1-4). Pp. 744–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.047>.
33. USDA National Nutrient Database for Standard Reference [Электронный ресурс]. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167755/nutrients>.
34. Бекетова Н.А., Коденцова В.М., Савельев Н.И., Макаров В.Н. Содержание витамина Е в ягодах и фруктах российской селекции // Материалы XV Всероссийского конгресса диетологов и нутрициологов с международным участием «Здоровое питание: от фундаментальных исследований к инновационным технологиям». М., 2014. С. 226–227.
35. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Каротиноиды в практической медицине // Тихоокеанский медицинский журнал. 2022. №1. С. 65–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71>.
36. Marinova D., Ribarova F. HPLC determination of carotenoids in Bulgarian berries // Journal of Food Composition and Analysis. 2007. Vol. 20(5). Pp. 370–374. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.09.007>.
37. Olas B. Berry Phenolic Antioxidants – Implications for Human Health? // Frontiers in Pharmacology. 2018. Vol. 9. Article 78. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00078>.
38. Gündesli M.A., Korkmaz N., Okatan V. Polyphenol content and antioxidant capacity of berries: A review // International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences. 2019. Vol. 3(2). Pp. 350–361.
39. Phenol-Explorator: Database on Polyphenol Content in Food [Электронный ресурс]. URL: <http://www.phenol-explorer.eu>.
40. Kula M., Majdan, M., Głód D., Krauze-Baranowska M. Phenolic composition of fruits from different cultivars of red and black raspberries grown in Poland // Journal of Food Composition and Analysis. 2016. Vol. 52. Pp. 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.08.003>.
41. Mazur S.P., Nes A., Wold A.-B., Remberg S.F., Aaby K. Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons // Food Chemistry. 2014. Vol. 160. Pp. 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.174>.
42. Dincheva I., Badjakov I., Kondakova V., Dobson P., McDougall G., Stewart D., Tsankov D., Bulgaria S. Identification of the phenolic component in Bulgarian Raspberry cultivars by LC-ESI-MS // International Journal of Agricultural Science and Research. 2013. Vol. 3. Pp. 127–138.
43. Frías-Moreno M.N., Parra-Quezada R.Á., Ruiz-Carrizales J., González-Aguilar G.A., Sepulveda D., Molina-Corral F.J., Jacobo-Cuellar J.L., Olivas, G.I. Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of raspberries cultivated in northern Mexico // International Journal of Food Properties. 2021. Vol. 24(1). Pp. 603–614. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1908352>.
44. Kähkönen M., Kylli P., Ollilainen V., Salminen J.-P., Heinonen M. Antioxidant Activity of Isolated Ellagitannins from Red Raspberries and Cloudberry // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. Vol. 60(5). Pp. 1167–1174. <https://doi.org/10.1021/jf203431g>.
45. Перова И.Б., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Изучение содержания антиоксидантов и производных эллаговой кислоты в малине и ежевике // Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии. М., 2023. С. 49–51.
46. Qi Q., Chu M., Yu X., Xie Y., Li Y., Du Y., Liu X., Zhang Z., John Shi J., Ning Yan N. Anthocyanins and Proanthocyanidins: Chemical Structures, Food Sources, Bioactivities, and Product Development // Food Reviews International. 2023. Vol. 39(7). Pp. 4581–4609. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029479>.
47. Сокуренко М.С., Соловьева Н.Л., Бессонов В.В., Мазо В.К. Полифенольные соединения класса стильбеноидов: классификация, представители, содержание в растительном сырье, особенности структуры, использование в пищевой промышленности и фармации // Вопросы питания. 2019. Т. 88(1). С. 17–25. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10002>.
48. Smeriglio A., Barreca D., Bellocchio E., Trombetta D. Chemistry, Pharmacology and Health Benefits of Anthocyanins // Phytotherapy Research. 2016. Vol. 30(8). Pp. 1265–1286. <https://doi.org/10.1002/ptr.5642>.
49. Tanya B., Archana M. Plant Anthocyanins: Biosynthesis, Bioactivity and in vitro Production from tissue cultures // Advances in Biotechnology & Microbiology. 2017. Vol. 5(5). Pp. 118–124. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.05.5556672>.
50. Zamora-Ros R., Knaze V., Luján-Barroso L., Slimani N., Romieu I., Touillaud M., González C.A. Estimation of the intake of anthocyanidins and their food sources in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study // British Journal of Nutrition. 2011. Vol. 106(7). Pp. 1090–1099. <https://doi.org/10.1017/s0007114511001437>.
51. Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M. de L., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A. Chemical studies of anthocyanins: A review // Food Chemistry. 2009. Vol. 113(4). Pp. 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>.
52. Ponder A., Hallmann E., Kwolek M., Średnicka-Tober D., Kazimierczak R. Genetic Differentiation in Anthocyanin Content among Berry Fruits // Current Issues in Molecular Biology. 2021. Vol. 43(1). Pp. 36–51. <https://doi.org/10.3390/cimb43010004>.

53. Юдина Р.С., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Тихонова М.А., Хлесткина Е.К. Антоцианы как компоненты функционального питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25(2). С. 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ21.022>.
54. Dini C., Zaro M.J., Viña S.Z. Bioactivity and Functionality of Anthocyanins: A Review // Current Bioactive Compounds. 2019. Vol. 15, no. 5. Pp. 507–523. <https://doi.org/10.2174/1573407214666180821115312>.
55. Cerletti C., Curtis A., Bracone F., Digesù C., Morganti A.G., Iacoviello L., de Gaetano G., Donati M.B. Dietary anthocyanins and health: data from FLORA and ATHENA EU projects // British Journal of Clinical Pharmacology. 2016. Vol. 83(1). Pp. 103–106. <https://doi.org/10.1111/bcp.12943>.
56. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Антоцианы в практической медицине // Тихookeанский медицинский журнал. 2021. Т. 3. С. 24–28. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-3-24-28>.
57. Sadik H., Ouazzani C., Moustaghfir A., El Ghammarti S., Er-Ramly A., Touzani A., Essebbahi I., Arrahmouni R., Dami A., Balouch L. Nutritional Qualities of Different Commercial Raspberries Consumed in Morocco // Tropical Journal of Natural Product Research. 2024. Vol. 8(4). Pp. 6868–6876. <https://doi.org/10.26538/tjnpv8i4.17>.
58. Bobinaitė R., Viškelis P., Venskutonis P.R. Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars // Food Chemistry. 2012. Vol. 132(3). Pp. 1495–1501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.137>.
59. Stavang J.A., Freitag S., Foito A., Verrall S., Heide O.M., Stewart D., Sønsteby A. Raspberry fruit quality changes during ripening and storage as assessed by colour, sensory evaluation and chemical analyses // Scientia Horticulturae. 2015. Vol. 195. Pp. 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.045>.
60. Pirogovskaia T., Kempler C., Kitts D.D., Lund S.T. Phenotypic diversity in antioxidant phytochemical composition among fruits from several genotypes of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) // Journal of Berry Research. 2012. Vol. 2(4). Pp. 229–238. <https://doi.org/10.3233/jbr-2012-040>.
61. Veberic R., Slatnar A., Bizjak J., Stampar F., Mikulic-Petkovsek M. Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species // LWT – Food Science and Technology. 2015. Vol. 60(1). Pp. 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.033>.
62. Teng H., Fang T., Lin Q., Song H., Liu B., Chen L. Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity // Trends in Food Science & Technology. 2017. Vol. 66. Pp. 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>.
63. Ludwig I.A., Mena P., Calani L., Borges G., Pereira-Caro G., Bresciani L., Rio D.D., Lean M.E., Crozier A. New insights into the bioavailability of red raspberry anthocyanins and ellagitannins // Free Radical Biology & Medicine. 2015. Vol. 89. Pp. 758–769. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.10.400>.
64. Bowen-Forbes C.S., Zhang Y., Nair M.G. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits // Journal of Food Composition and Analysis. 2010. Vol. 23(6). Pp. 554–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.012>.
65. Sariburun E., Şahin S., Demir C., Türkben C., Uylâşer V. Phenolic Content and Antioxidant Activity of Raspberry and Blackberry Cultivars // Journal of Food Science. 2010. Vol. 75(4). Pp. 328–335. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01571.x>.
66. Ivanović M., Pavlović A., Mitić M., Pecev Marinković E., Krstić J., Mrmošanin J. Determination of total and individual anthocyanins in raspberries grown in South Serbia // “XXI savetovanje o biotehnologiji” Zbornik radova. 2016. Vol. 21 (23). Pp. 263–267.
67. Дайнека В.И., Дайнека Л.А., Сорокупдов В.Н., Дубцова И.С., Майорова Е.Б. Исследование антоцианов 11 сортов ремонтантной малины // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2012. №21(140). С. 149–153.
68. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека // Аналитика. 2019. Т. 9, №3. С. 222–230. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230>.
69. Zorzi M., Gai F., Medana C., Aigotti R., Morello S., Peiretti P.G. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Small Berries // Foods. 2020. Vol. 9(5). 623. <https://doi.org/10.3390/foods9050623>.
70. Чугунова О.В., Заворожина Н.В., Вяткин А.В. Исследование антиоксидантной активности и ее изменения при хранении плодово-ягодного сырья Свердловской области // Аграрный вестник Урала. 2019. №11 (190). С. 59–65. https://doi.org/10.32417/article_5dcd861e8e0053.57240026.
71. Szymanowska U., Baraniak B., Bogucka-Kocka A. Antioxidant, anti-inflammatory, and postulated cytotoxic activity of phenolic and anthocyanin-rich fractions from Polana raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit and juice – *in vitro* study // Molecules. 2018. Vol. 23. 1812. <https://doi.org/10.3390/molecules23071812>.
72. Ispiryan A., Viškelis J., Viškelis P., Urbanović D., Raudonė, L. Biochemical and Antioxidant Profiling of Raspberry Plant Parts for Sustainable Processing // Plants. 2023. Vol. 12. 2424. <https://doi.org/10.3390/plants12132424>.
73. Chen L., Xin X., Zhang H., Yuan Q. Phytochemical properties and antioxidant capacities of commercial raspberry varieties // Journal of Functional Foods. 2013. Vol. 5(1). Pp. 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.10.009>.
74. Toshima S., Hirano T., Kunitake H. Comparison of anthocyanins, polyphenols, and antioxidant capacities among raspberry, blackberry, and Japanese wild *Rubus* species // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 285. 110204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110204>.
75. Lebedev V.G., Lebedeva T.N., Vidyagina E.O., Sorokupudov V.N., Popova A.A., Shestibratov K.A. Relationship between Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Berries and Leaves of Raspberry Genotypes and Their Genotyping by SSR Markers // Antioxidants. 2022. Vol. 11. 1961. <https://doi.org/10.3390/antiox11101961>.

76. Battino M., Beekwilder J., Denoyes-Rothan B., Laimer M., McDougall G.J., Mezzetti B. Bioactive compounds in berries relevant to human health // *Nutrition Reviews*. 2009. Vol. 67. Pp. 145–150. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00178.x>.
77. Beekwilder J., Jonker H., Meesters P., Hall R.D., Van der Meer I.M., Ric deVos C.H. Antioxidants in raspberry: Online analysis links antioxidant activity to a diversity of individual metabolites // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53(9). Pp. 3313–3320. <https://doi.org/10.1021/jf047880b>.
78. Jakobek L., Šeruga M., Šeruga B., Novak I., Medvidović-Kosanović M. Phenolic compound composition and antioxidant activity of fruits of Rubus and Prunus species from Croatia // *International Journal of Food Science & Technology*. 2009. Vol. 44(4). Pp. 860–868. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01920>.
79. Çekiç Ç., Özgen M. Comparison of antioxidant capacity and phytochemical properties of wild and cultivated red raspberries (*Rubus idaeus* L.) // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2010. Vol. 23(6). Pp. 540–544. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.07.002>.
80. Wang S.Y., Lin H.-S. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000. Vol. 48(2). Pp. 140–146. <https://doi.org/10.1021/jf9908345>.
81. Kostecka-Gugała A., Ledwożyw-Smoleń I., Augustynowicz J., Wyżgolik G., Kruczek M., Kaszycki P. Antioxidant properties of fruits of raspberry and blackberry grown in central Europe // *Open Chemistry*. 2015. Vol. 13(1). Pp. 1313–1325. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0143>.
82. Cervantes L., Martínez-Ferri E., Soria C., Ariza M.T. Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs // *Food Bioscience*. 2020. Vol. 37. 100680. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100680>.

Поступила в редакцию 29 августа 2024 г.

После переработки 17 июня 2025 г.

Принята к публикации 2 июля 2025 г.

Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Zhidexhina T.V. VITAMIN AND ANTIOXIDANT VALUE OF RASPBERRY FRUIT (*RUBUS IDAEUS* L.) (REVIEW)*

I.V. Michurin Federal Scientific Center, 30. Michurina st., Michurinsk, 393774, Russia, shbanovak@yandex.ru

The studies were focused on the review of domestic and foreign publications reflecting modern information on vitamin and antioxidant value of raspberries. According to different database information the ascorbic acid content in raspberry fruit is averagely 24.4 ± 0.9 mg/100 g varying within the range of 13.6 mg/100 g to 32.0 mg/100 g. Taking into account the daily requirement for ascorbic acid – 100 mg/day, the consumption a serving of raspberries (100 g) covers the daily requirement for this biologically active substance by 24.4%. The calculated average level of folic acid content was 37.6 μ g/100 g. Thus, raspberry fruits (100 g) are able to satisfy the daily requirement for folic acid (400 μ g) by 9.4%. The total anthocyanin content in red raspberries, as a rule, is less than 100 mg/100 g fresh weight independently on the method used or cultivar analyzed. Generally, 11 anthocyanins were found in red raspberries and the main pieced were cyanidin-3-sophoroside and cyanidin 3-(2-glucosylrutinoside). Approximately 50% of antioxidant activity of raspberries is due, to the presence of ellagotanins. Such well-known antioxidants as vitamin C and anthocyanins make a smaller contribution (20 and 25% of total antioxidant activity respectively). The given results maybe an important waymark in raspberry breeding to increase the nutritional and antioxidant value of fruits and their industrial and commercial utilization.

Keywords: raspberries, vitamins, phenolic substances, anthocyanins, antioxidant activity.

For citing: Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Zhidexhina T.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 43–59. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315732>.

References

1. Gupta Ch., Prakash D., Gupta S. *Introduction to Functional Food Science Textbook (First edition) Functional Food Science Series*, 2013, pp. 65–85.
2. Manganaris G.A., Goulas V., Vicente A.R., Terry L.A. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, vol. 94(5), pp. 825–833. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6432>.
3. Akimov M.Yu., Makarov V.N., Zhbanova E.V. *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*, 2019, vol. 33, no. 2, pp. 56–60. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10214>. (in Russ.).

* Corresponding author.

4. Starodubova A.V. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2022, vol. 92(2), pp. 162–170. <https://doi.org/10.31857/S0869587322020098>. (in Russ.).
5. Akimov M.Yu., Zhabanova Ye.V., Luk'yanchuk I.V., Gur'yeva I.V., Lyzhin A.S., Dubrovskaya O.Yu. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, vol. 36, no. 10, pp. 43–48. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_43. (in Russ.).
6. Karaklajić-Stajić Ž., Leposavić A., Milinković M., Paunović S.M., Tomić J. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2023, vol. 110(3), pp. 263–270. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.030>.
7. *Fresh Raspberry production and top producing countries*. URL: <https://www.tridge.com/ru/intelligences/raspberry/production>.
8. Jimenez-Garcia S.N., Guevara-Gonzalez R.G., Miranda-Lopez R., Feregrino-Perez A.A., Torres-Pacheco I., Vazquez-Cruz M.A. *Food Research International*, 2013, vol. 54(1), pp. 1195–1207. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.004>.
9. Probst Y. *Nutrition and Food Science*, 2015, vol. 45(2), pp. 242–254. <https://doi.org/10.1108/nfs-07-2014-0063>.
10. Schulz M., Chim J.F. *Food Bioscience*, 2019, 100438. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>.
11. Buczyński K., Kapłan M., Jarosz Z. *Agriculture*, 2024, vol. 14, 1324. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081324>.
12. Kim M.J., Sutton K.L., Harris G.K. *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, pp. 586–591. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00586-9>.
13. Rocabado G.O., Bedoya L.M., Abad M.J., Bermejo P. *Natural Product Communications*, 2008, vol. 3(3), pp. 423–436. <https://doi.org/10.1177/1934578X0800300319>.
14. Rao A.V., Snyder D.M. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58(7), pp. 3871–3883. <https://doi.org/10.1021/jf903484g>.
15. Lim T.K. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Vol. 4. Fruits*. Springer, 2012, 1038 p.
16. Nile S.H., Park S.W. *Nutrition*, 2014, vol. 30(2), pp. 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>.
17. Li J., Du L.-F., He Y., Yang L., Li Y.-Y., Wang Y.-F., Chai X., Zhu Y., Gao X.-M. *Chemistry & Biodiversity*, 2015, vol. 12(12), pp. 1809–1847. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201400307>.
18. Baby B., Antony P., Vijayan R. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1329198>.
19. Singh S., Virmani T., Kohli K. *Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 5(2), pp. 48–51.
20. Pap N., Fidelis M., Azevedo L., do Carmo M.A.V., Wang D., Mocan A., Pereira E.P.R., Xavier-Santos D., Santana A., Yang B., Granato D. *Current Opinion in Food Science*, 2021, vol. 42, pp. 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
21. Burton-Freeman B.M., Sandhu A.K., Edirisinghe I. *Advances in Nutrition*, 2016, vol. 7(1), pp. 44–65. <https://doi.org/10.3945/an.115.009639>.
22. Kodentsova V.M. *Vitaminy. [Vitamins]*. Moscow, 2015, 408 p. (in Russ.).
23. *International Network of Food Data Systems (INFOODS)*. URL: <https://www.fao.org/infooods/infooods/tables-and-databases/en>.
24. Tutel'yan V.A. *Khimicheskiy sostav i kaloriynost' rossiyskikh produktov pitaniya: spravochnik*. [Chemical composition and caloric content of Russian food products: reference book]. Moscow, 2012, 283 p. (in Russ.).
25. Akimov M.Yu., Bessonov V.V., Kodentsova V.M., Eller K.I., Vrzhensinskaya O.A., Bektebova N.A., Kosheleva O.V., Bogachuk M.N., Malinkin A.D., Makarenko M.A., Shevyakova L.V., Perova I.B., Rylina Ye.V., Makarov V.N., Zhidkikhina T.V., Kol'tsov V.A., Yushkov A.N., Novotortsev A.A., Bryksin D.M., Khromov N.V. *Voprosy pitaniya*, 2020, vol. 89, no. 4, pp. 220–232. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>. (in Russ.).
26. *MR 2.3.1.0253-21. Metodicheskiye rekomendatsii «Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii»*. [MR 2.3.1.0253-21. Methodological recommendations “Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation”]. Moscow, 2021, 72 p. (in Russ.).
27. Strålsjö L. *Folates in berries – evaluation of an RPBA method to study the effects of cultivar, ripeness, storage and processing*. Doctoral dissertation. Uppsala, 2003, 58 p.
28. Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T., Sochor J. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, vol. 16(10), pp. 24673–24706. <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>.
29. Bastias J.M., Cepero Y. *Revista chilena de nutricion*, 2016, vol. 43(1), pp. 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>.
30. *Nutritsiologiya i klinicheskaya diyetologiya: natsional'noye rukovodstvo* [Nutrition and clinical dietetics: national guidelines]. ed. V.A. Tutel'yan, D.B. Nikityuk. Moscow, 2022, 1008 p. (in Russ.).
31. *Commission Directive 2008/100/EC of 28 October 2008 amending Council Directive 90/496/EEC on nutrition labeling for foodstuffs as regards recommended daily allowance, energy conversion factors and definitions*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/100/oj>.
32. Carvalho E., Fraser P.D., Martens S. *Food Chemistry*, 2013, vol. 139(1-4), pp. 744–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.047>.
33. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference*. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167755/nutrients>.
34. Bektebova N.A., Kodentsova V.M., Savel'yev N.I., Makarov V.N. *Materialy XV Vserossiyskogo kongressa diyetologov i nutritsiologov s mezhdunarodnym uchastiyem «Zdorovoye pitaniye: ot fundamental'nykh issledovaniy k innovatsionnym tekhnologiyam»*. [Proceedings of the XV All-Russian Congress of Dietitians and Nutritionists with

- International Participation “Healthy Nutrition: from Fundamental Research to Innovative Technologies”]. Moscow, 2014, pp. 226–227. (in Russ.).
35. Koldayev V.M., Kropotov A.V. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 65–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71>. (in Russ.).
36. Marinova D., Ribarova F. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, vol. 20(5), pp. 370–374. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.09.007>.
37. Olas B. *Frontiers in Pharmacology*, 2018, vol. 9, article 78. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00078>.
38. Gündesli M.A., Korkmaz N., Okatan V. *International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences*, 2019, vol. 3(2), pp. 350–361.
39. *Phenol-Explorer: Database on Polyphenol Content in Food*. URL: <http://www.phenol-ex-plorer.eu>.
40. Kula M., Majdan, M., Głód D., Krauze-Baranowska M. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, vol. 52, pp. 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.08.003>.
41. Mazur S.P., Nes A., Wold A.-B., Remberg S.F., Aaby K. *Food Chemistry*, 2014, vol. 160, pp. 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.174>.
42. Dincheva I., Badjakov I., Kondakova V., Dobson P., McDougall G., Stewart D., Tsankov D., Bulgaria S. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 2013, vol. 3, pp. 127–138.
43. Frías-Moreno M.N., Parra-Quezada R.Á., Ruíz-Carrizales J., González-Aguilar G.A., Sepulveda D., Molina-Corral F.J., Jacobo-Cuellar J.L., Olivas, G.I. *International Journal of Food Properties*, 2021, vol. 24(1), pp. 603–614. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1908352>.
44. Kähkönen M., Kylli P., Ollilainen V., Salminen J.-P., Heinonen M. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60(5), pp. 1167–1174. <https://doi.org/10.1021/jf203431g>.
45. Perova I.B., Lebedev V.G., Shestibratov K.A. *Fundamental'nyye i prikladnyye aspekty nutritsiologii i diyetologii*. [Fundamental and applied aspects of nutrition and dietetics]. Moscow, 2023, pp. 49–51. (in Russ.).
46. Qi Q., Chu M., Yu X., Xie Y., Li Y., Du Y., Liu X., Zhang Z., John Shi J., Ning Yan N. *Food Reviews International*, 2023, vol. 39(7), pp. 4581–4609. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029479>.
47. Sokurenko M.S., Solov'yeva N.L., Bessonov V.V., Mazo V.K. *Voprosy pitaniya*, 2019, vol. 88(1), pp. 17–25. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10002>. (in Russ.).
48. Smeriglio A., Barreca D., Bellocchio E., Trombetta D. *Phytotherapy Research*, 2016, vol. 30(8), pp. 1265–1286. <https://doi.org/10.1002/ptr.5642>.
49. Tanya B., Archana M. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 2017, vol. 5(5), pp. 118–124. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.05.5556672>.
50. Zamora-Ros R., Knaze V., Luján-Barroso L., Slimani N., Romieu I., Touillaud M., González C.A. *British Journal of Nutrition*, 2011, vol. 106(7), pp. 1090–1099. <https://doi.org/10.1017/s0007114511001437>.
51. Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M. de L., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A. *Food Chemistry*, 2009, vol. 113(4), pp. 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>.
52. Ponder A., Hallmann E., Kwolek M., Średnicka-Tober D., Kazimierczak R. *Current Issues in Molecular Biology*, 2021, vol. 43(1), pp. 36–51. <https://doi.org/10.3390/cimb43010004>.
53. Yudina R.S., Gordeyeva Ye.I., Shoyeva O.Yu., Tikhonova M.A., Khlestkina Ye.K. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2021, vol. 25(2), pp. 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ21.022>. (in Russ.).
54. Dini C., Zaro M.J., Viña S.Z. *Current Bioactive Compounds*, 2019, vol. 15, no. 5, pp. 507–523. <https://doi.org/10.2174/157340721466618082115312>.
55. Cerletti C., Curtis A., Braccone F., Digesù C., Morganti A.G., Iacoviello L., de Gaetano G., Donati M.B. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 2016, vol. 83(1), pp. 103–106. <https://doi.org/10.1111/bcpt.12943>.
56. Koldayev V.M., Kropotov A.V. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2021, vol. 3, pp. 24–28. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-3-24-28>. (in Russ.).
57. Sadik H., Ouazzani C., Moustaghfir A., El Ghannam S., Er-Ramly A., Touzani A., Essebbahi I., Arrahmouni R., Dami A., Balouch L. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2024, vol. 8(4), pp. 6868–6876. <https://doi.org/10.26538/tjnpvr8i4.17>.
58. Bobinaitė R., Viškelis P., Venskutonis P.R. *Food Chemistry*, 2012, vol. 132(3), pp. 1495–1501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.137>.
59. Stavang J.A., Freitag S., Foito A., Verrall S., Heide O.M., Stewart D., Sønsteby A. *Scientia Horticulturae*, 2015, vol. 195, pp. 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.045>.
60. Pirogovskaia T., Kempler C., Kitts D.D., Lund S.T. *Journal of Berry Research*, 2012, vol. 2(4), pp. 229–238. <https://doi.org/10.3233/JBR-2012-040>.
61. Veberic R., Slatnar A., Bizjak J., Stampar F., Mikulic-Petkovsek M. *LWT – Food Science and Technology*, 2015, vol. 60(1), pp. 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.033>.
62. Teng H., Fang T., Lin Q., Song H., Liu B., Chen L. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 66, pp. 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>.
63. Ludwig I.A., Mena P., Calani L., Borges G., Pereira-Caro G., Bresciani L., Rio D.D., Lean M.E., Crozier A. *Free Radical Biology & Medicine*, 2015, vol. 89, pp. 758–769. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.10.400>.
64. Bowen-Forbes C.S., Zhang Y., Nair M.G. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, vol. 23(6), pp. 554–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.012>.

65. Sariburun E., Şahin S., Demir C., Türkben C., Uylaşer V. *Journal of Food Science*, 2010, vol. 75(4), pp. 328–335. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01571.x>.
66. Ivanović M., Pavlović A., Mitić M., Pecev Marinković E., Krstić J., Mrmošanin J. "XXI savetovanje o biotehnologiji" *Zbornik radova*, 2016, vol. 21 (23), pp. 263–267.
67. Deyneka V.I., Deyneka L.A., Sorokopudov V.N., Dubtsova I.S., Mayorova Ye.B. *Nauchnyye vedomosti BelGU. Ser. Yestestvennyye nauki*, 2012, no. 21(140), pp. 149–153. (in Russ.).
68. Yashin A.Ya., Vedenin A.N., Yashin Ya.I., Nemzer B.V. *Analitika*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 222–230. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230>. (in Russ.).
69. Zorzi M., Gai F., Medana C., Aigotti R., Morello S., Peiretti P.G. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Small Berries // *Foods*. 2020, vol. 9(5). 623. <https://doi.org/10.3390/foods9050623>.
70. Чугунова О.В., Заворожина Н.В., Вяткин А.В. Исследование антиоксидантной активности и ее изменения при хранении плодово-ягодного сырья Свердловской области // Аграрный вестник Урала. 2019, no. 11 (190), pp. 59–65. https://doi.org/10.32417/article_5dcd861e8e0053.57240026. (in Russ.).
71. Szymańska U., Baraniak B., Bogucka-Kocka A. *Molecules*, 2018, vol. 23, 1812. <https://doi.org/10.3390/molecules23071812>.
72. Ispiryan A., Viškelis J., Viškelis P., Urbonaviciene D., Raudone L. *Plants*, 2023, vol. 12, 2424. <https://doi.org/10.3390/plants12132424>.
73. Chen L., Xin X., Zhang H., Yuan Q. *Journal of Functional Foods*, 2013, vol. 5(1), pp. 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.10.009>.
74. Toshima S., Hirano T., Kunitake H. *Scientia Horticulturae*, 2021, vol. 285, 110204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110204>.
75. Lebedev V.G., Lebedeva T.N., Vidyagina E.O., Sorokopudov V.N., Popova A.A., Shestibratov K.A. *Antioxidants*, 2022, vol. 11, 1961. <https://doi.org/10.3390/antiox11101961>.
76. Battino M., Beekwilder J., Denoyes-Rothan B., Laimer M., McDougall G.J., Mezzetti B. *Nutrition Reviews*, 2009, vol. 67, pp. 145–150. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00178.x>.
77. Beekwilder J., Jonker H., Meesters P., Hall R.D., Van der Meer I.M., Ric deVos C.H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, vol. 53(9), pp. 3313–3320. <https://doi.org/10.1021/jf047880b>.
78. Jakobek L., Šeruga M., Šeruga B., Novak I., Medvidović-Kosanović M. *International Journal of Food Science & Technology*, 2009, vol. 44(4), pp. 860–868. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01920>.
79. Çekiç Ç., Özgen M. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, vol. 23(6), pp. 540–544. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.07.002>.
80. Wang S.Y., Lin H.-S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, vol. 48(2), pp. 140–146. <https://doi.org/10.1021/jf9908345>.
81. Kostecka-Gugała A., Ledwożyw-Smoleń I., Augustynowicz J., Wyżgolik G., Kruczek M., Kaszycki P. *Open Chemistry*, 2015, vol. 13(1), pp. 1313–1325. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0143>.
82. Cervantes L., Martínez-Ferri E., Soria C., Ariza M.T. *Food Bioscience*, 2020, vol. 37, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100680>.

Received August 29, 2024

Revised June 17, 2025

Accepted July 2, 2025

Сведения об авторах

- Акимов Михаил Юрьевич – доктор сельскохозяйственных наук, директор, info@fnc-mich.ru
- Жбанова Екатерина Викторовна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, shbanovak@yandex.ru
- Жидехина Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по науке, berrys-m@mail.ru

Information about authors

- Akimov Mikhail Yuryevich – Doctor of Agricultural Sciences, Director, info@fnc-mich.ru
- Zhbanova Ekaterina Viktorovna – Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, shbanovak@yandex.ru
- Zhidekhina Tatyana Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Science, berrys-m@mail.ru