

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 634.75:577.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях
Свердловской области

Н. Л. Наумова, Т. Н. Слепнева, О. А. Павлова

*Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Наталья Леонидовна Наумова, n.naumova@inbox.ru

Актуальность. При возрастающих требованиях, предъявляемых к новым сортам земляники с точки зрения пищевой ценности плодов, в каждой зоне ягодоводства необходима комплексная оценка сортового фонда по минеральному составу.

Материалы и методы. Исследованы плоды 6 сортов земляники садовой и 1 сорта землянично-клубничного гибрида (ЗКГ) среднего срока созревания отечественной селекции в условиях Свердловской селекционной станции садоводства (г. Екатеринбург). Минеральный состав изучали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

Результаты. В ягодах земляники выявлено 23 макро- и микроэлемента, большинство из которых содержалось во всех плодах с образованием убывающего ряда: $K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na \geq Mn > Ba > B > Sr \geq Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo$. Определена избирательная способность к аккумуляции для Al, Cd, Co, Pb, Se, V. Резких межсортовых различий в обеспечении потребности человека в эссенциальных макроэлементах при употреблении порции ягод не выявлено. Установлены корреляционные связи между элементами в плодах.

Заключение. По преимущественному накоплению эссенциальных и условно эссенциальных микроэлементов Cr, V, Co, Fe, Mn, Si выделен сорт 'Торпеда', по накоплению Cr, V, Co, Fe, Mo – сорт 'Аquareль', которые рекомендуются для использования в селекции земляники в направлении улучшения минерального состава ее плодов с целью дальнейшего производства специализированных продуктов питания на их основе. В качестве генетического источника Mo предлагается использовать сорт 'Италмас', Co – сорт 'Купчиха'.

Ключевые слова: земляника, сорта, элементный состав, генетические источники, микроэлементы

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственного задания НИОКР по направлению 4.1.2 «Растениеводство, защита и биотехнология растений» по теме № 0532-2024-0007.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Наумова Н.Л., Слепнева Т.Н., Павлова О.А. Минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях Свердловской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):47-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars under the conditions of Sverdlovsk Province

Natalya L. Naumova, Tatyana N. Slepneva, Olga A. Pavlova

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Natalya L. Naumova, n.naumova@inbox.ru

Background. Growing requirements on new strawberry cultivars for higher nutritional value of their fruits call for a comprehensive evaluation of their assortment in each berry-growing zone.

Materials and methods. Berries of 6 garden strawberry cultivars and 1 hybrid cultivar obtained from crossing garden and wild strawberries, all of them midseason and developed domestically, were studied at Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture, Yekaterinburg. Their mineral composition was analyzed using the method of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES).

Results. Twenty-three macro- and micronutrients were found in the berries. Most of them were observed in all fruits (in descending order of their content): $K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na \geq Mn > Ba > B > Sr \geq Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo$. The selective accumulation ability was specified for Al, Cd, Co, Pb, Se, and V. There were no significant differences among the cultivars in meeting human needs for essential macronutrients when consuming a serving of berries. Correlations among the nutrients in berries were established.

Conclusion. Cv. 'Torpeda' demonstrated predominant accumulation of essential and conditionally essential micronutrients (Cr, V, Co, Fe, Mn, and Si), and cv. 'Akvarel' stood out for accumulation of Cr, V, Co, Fe, and Mo. Both are recommended to strawberry breeders who seek improvement of the mineral composition in strawberry fruits to produce on their basis specialized food products. Cv. 'Italmas' was identified as a genetic source of Mo, and cv. 'Kupchikha' as a source of Co.

Keywords: strawberry, cultivars, nutrient composition, genetic sources, micronutrients

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state task, Research and Development Area 4.1.2. "Plant production, protection and biotechnology", Topic No. 0532-2024-0007.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Naumova N.L., Slepneva T.N., Pavlova O.A. Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars under the conditions of Sverdlovsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):47-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Введение

Среди видов рода *Fragaria* L. земляника ананасная, или садовая (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier), наиболее распространена и занимает ведущее место в промышленном ягодоводстве. Ее несомненными достоинствами являются экологическая пластичность, скороплодность, высокая урожайность и товарность плодов, технологичность при возделывании. Межвидовые же гибриды (*Fragaria × anaschata* Kantor) наибольшее распространение получили в любительском садоводстве, отличаясь более высокой зимостойкостью, но меньшим товарным качеством ягод. Вкусные и ароматные ягоды земляники обладают уникальным комплексом лечебных и диетических свойств, благодаря содержанию незаменимых пищевых нутриентов (витаминов, минеральных элементов, органических кислот, полифенольных соединений и др.). Большой интерес к данной ягодной культуре обусловлен, прежде всего, высоким содержанием аскорбиновой (11,4–118,2 мг/100 г) и фолиевой (20–25 мг/100 г) кислот, флавоноидов (144,8–180,6 мг/100 г), уровнем макроэлементов: К (1,55–2,53 г/кг), Mg (0,11–0,23 г/кг), Са (0,16–0,29 г/кг) и других биологически активных веществ. Основной химический состав земляники садовой описан в значительном количестве отечественных и зарубежных научных работ (Singh et al., 2010; Eliseeva, Blinnikova, 2013; Kouam et al., 2024). Однако имеющиеся сведения о минеральной ценности ее плодов носят фрагментарный характер, при этом недостаточно изучены уровни отдельных минеральных компонентов, элементный ряд исследуемых минеральных веществ зачастую ограничивается несколькими наименованиями и др.

Известно, что содержание минералов в растительном сырье зависит от его видовых и сортовых особенностей, ареала произрастания, климатических условий, технологий возделывания и т. д. Так, плоды сорта земляники садовой 'Самагоса' американской селекции, выращенной в Центрально-Черноземном регионе РФ, характеризовались высоким содержанием К (2375 мг/кг), Mg (430 мг/кг), Mn (2,8 мг/кг), Cu (0,99 мг/кг), Co (17 мкг/кг), Fe (6,85 мг/кг) и Se (33 мкг/кг) (Eliseeva, Blinnikova, 2013); сорта 'Vima Zanta' – повышенными уровнями К (2273 мг/кг) и Mg (524 мг/кг) (Akimov et al., 2019). Лидером по содержанию Mn (1,3 мг/кг), Cu (0,9 мг/кг) и Zn (0,8 мг/кг) являлся сорт 'Елизавета', по количеству I – сорт 'Нонеоуе' (0,09 мг/кг), возделываемые в Республике Дагестан (Mukailov et al., 2017). В ягодах селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина устанав-

лено высокое содержание Fe в плодах сорта 'Лакомая' (9,27 мг/кг), Zn – в сортах 'Праздничная' (1,87 мг/кг) и 'Фейерверк' (1,77 мг/кг), К – в сорте 'Урожайная ЦГЛ' (2510,0 мг/кг). Выращенные на базе Северо-Кавказского зонального НИИ садоводства и виноградарства ягоды сортов 'Ламбада' и 'Симфония' по уровню Са (40,3–41,2 мг%), сортов 'Darselect', 'Malling Pegasus', 'Симфония' по содержанию Mg (12,8–16,7 мг%) превосходили многие плоды, а по количеству Fe земляника сортов 'Florence', 'Polka' и 'Malling Pegasus' занимала ведущее место среди плодов и ягод, накапливая до 1340–1460 мкг% этого микроэлемента (Prichko et al., 2011).

В научных трудах доказано более сильное воздействие генотипа на содержание минеральных элементов в плодах земляники, чем влияние факторов окружающей среды. Содержание К, Са, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu в землянике садовой сортов 'Ofra', 'Sweet Charlie', 'Elista', 'Festival', 'Camagosa', 'Douglas' имело высокую наследуемость (> 80%) (Singh et al., 2010). В землянике сортов 'Charlotte' и 'Camagosa' определена значимая положительная корреляция ($p < 0,001$) между уровнями К – Na, К – Р и Р – Na, антагонистические эффекты ($p < 0,001$) – в парах Са – Na, Са – К (Kouam et al., 2024).

При возрастающих требованиях, предъявляемых новыми сортам земляники с точки зрения пищевой ценности плодов, в каждой зоне ягодоводства необходима комплексная оценка сортового фонда по минеральному составу (Akimov et al., 2019). Относясь к незаменимым нутриентам пищи, минеральные вещества играют важную роль в различных обменных процессах организма. Сравнительная оценка минеральной ценности ягод земляники, возделываемой в условиях Свердловской области, ранее не проводилась. В этой связи целью исследования явилось выделение ценных форм с высоким уровнем накопления макро- и микроэлементов в плодах данной ягодной культуры в регионе возделывания для дальнейшей селекции в направлении улучшения минерального состава ее плодов.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили плоды земляники садовой сортов 'Акварель', 'Альтаир', 'Гейзер', 'Италмас', 'Торпеда', 'Фестивальная' и землянично-клубничного гибрида (ЗКГ) сорта 'Купчиха' (табл. 1), выращенные в сезон 2024 г. в условиях Уникальной научной установки (УНУ) «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразде-

Таблица 1. Перечень изученных сортов культуры земляники

Table 1. List of the studied strawberry cultivars

Название	Происхождение	Оригинатор
'Акварель'	'Арника' × 'Горноуктусская'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Альтаир'	'Totem' × 'Фестивальная'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Гейзер'	'Арника', свободное опыление	УрФАНИЦ УрО РАН
'Италмас'	'Фестивальная' × 'Stoplight'	УрФАНИЦ УрО РАН
ЗКГ 'Купчиха'	263-88, свободное опыление	ФНЦ садоводства
'Торпеда'	'Фестивальная' × 'Robinson'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Фестивальная'	'Обильная' × 'Premier'	ВИР

ления Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург).

Почва участка сортоизучения дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, pH 5,3–5,5 (среднекислая). Содержание в почве гумуса – 6,1%, N – 150 мг/кг, P₂O₅ – 24 мг/кг, K₂O – 114 мг/кг. Схема посадки – 0,9 × 0,2 м. Агротехника: предшественник – черный пар, на делянках осуществлялась ручная прополка и рыхление с удалением усов, полив проводился 1 раз в неделю до и во время созревания.

Перезимовка 2023/24 г. для культуры характеризовалась как благополучная. Отрастание земляники проходило при прохладной (среднемесячная температура была ниже среднепогодной на 4,1°C), с обильным выпадением осадков (146% выше нормы) погоде. Цветение отмечено как хорошее. Созревание ягод началось раньше на 7–10 дней, чем обычно (обычными для культуры в условиях Среднего Урала являются сроки с 06 по 11 июля), и продолжалось в течение 20–25 дней. Количество выпавших осадков во время созревания в третьей декаде июня превысило среднюю многолетнюю норму в 3,5 раза (норма – 24,7 мм, по факту – 85,2 мм).

Отбор проб ягод земляники осуществляли в период массового созревания плодов. Для всех проб проводили кислотное разложение в автоклавах под действием микроволнового излучения с контролем температуры с помощью микроволновой системы Milestone ETHOS (Италия). Содержание минеральных веществ определяли по МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 (МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03..., 2003). Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой посредством прибора iCAP 7200 DUO с программным обеспечением iTEVA iCAP Software (США) анализировали валовое содержание элементов (Al, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sr, Ti, V, Zn) в подготовленных пробах ягод земляники.

Все измерения выполнены в трех параллельных определениях и представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение. Математическую обработку данных проводили с использованием пакета программы Microsoft Excel 2016, а также языка программирования Python с применением библиотек Numpy, Pandas, Seaborn.

Результаты и обсуждение

По литературным данным, ягоды земляники садовой характеризуются достаточно высоким содержанием K, Mg, Cu, Mn, Co, Fe и Se (Akimov et al., 2019). У исследуемых сортов идентифицировано 23 минеральных элемента (табл. 2), большинство из которых (17 элементов) определено во всех плодах, что позволило расположить их в следующем ряду: K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na ≥ Mn > Ba > B > Sr ≥ Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo, характерном для всех сортов. Избирательная способность земляники садовой к аккумуляции минеральных веществ проявилась у всех сортов, кроме 'Торпеды'. Так, в ягодах сорта 'Акварель' уровни Cd, Pb, сорта 'Альтаир' – Co, Se, V, сорта 'Гейзер' – Cd, Pb, V, сорта 'Италмас' – V, сорта 'Купчиха' – Al, сорта 'Фестивальная' – Se, V были ниже пределов их обнаружения применяемым методом исследования.

В наибольших количествах в ягодах земляники содержались жизненно необходимые макроэлементы, а именно K, P, Ca, Mg (Na присутствовал в значительно меньших концентрациях), межсортные различия

в уровнях которых были минимальными (за исключением Na).

Наибольшее содержание K (1817,2–1993,0 мг/кг) определено в сортах 'Торпеда', 'Гейзер', 'Фестивальная', наименьшее – в сорте 'Купчиха' (1221,2 мг/кг). Калий считается определяющим фактором в накоплении сахаров, витамина C и формировании кислотности плодов земляники (Preciado-Rangel et al., 2020).

Относительно высокий уровень P (428,0–439,0 мг/кг) установлен в плодах земляники сортов 'Италмас' и 'Фестивальная', относительно низкий – в сортах 'Акварель' и 'Купчиха' (332,1–337,3 мг/кг), усредненное значение показателя (в пределах 380 мг/кг) было свойственно сортам 'Альтаир' и 'Торпеда'. Фосфор – это ключевой элемент фотосинтеза, дыхания и биосинтеза нуклеиновых кислот (Lambers, 2022).

Самое высокое содержание Ca выявлено в плодах земляники сорта 'Италмас' (265,0 мг/кг), самое низкое – в сорте 'Фестивальная' (152,1 мг/кг). Ягоды трех сортов: 'Купчиха', 'Акварель', 'Альтаир' – не имели существенных различий в величине данного показателя (166–169 мг/кг). Кальций участвует в построении клеток корней, листьев, плодов земляники (Khalil, Hammoodi, 2020).

Уровень Mg в ягодах находился в диапазоне 103–129 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Италмас'. При этом величины значений у четырех изучаемых сортов: 'Фестивальная', 'Купчиха', 'Альтаир' и 'Гейзер' – соответствовали 109–113 мг/кг. Магний входит в состав органелл клеток (хлоропластов, рибосом), мембран, клеточных стенок, участвует в фотосинтезе, дыхании, синтезе белков и углеводов, связан с деятельностью порядка 300 ферментов (Akanova et al., 2021).

Интервал концентраций Na в ягодной продукции составил 1,61–13,37 мг/кг с вариабельностью количественных характеристик до 8 раз. Высокое содержание элемента определено в плодах двух сортов: 'Италмас' (11,41 мг/кг) и 'Гейзер' (13,37 мг/кг). В ягодах остальных сортов уровень Na был в пределах величины нижней границы установленного диапазона. Натрий участвует в транспорте веществ через мембраны, входя в так называемый натрий-калиевый насос. Хорошая обеспеченность растений Na повышает их зимостойкость (Kabata-Pendias, 2010).

Эссенциальные микроэлементы в ягодах земляники были представлены Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co, Se.

Содержание Fe в ягодах существенно изменялось в зависимости от сорта от 2,46 мг/кг ('Гейзер') до 32,81 мг/кг ('Торпеда'). Среднее значение показателя (14,20 мг/кг) определено в плодах сорта 'Акварель'. Железо является конституционной и функциональной составляющей многих ферментных систем, участвует в построении молекул цитохромов, служит металлом – активатором неспецифических к металлу энзиматических систем (Kabata-Pendias, 2010).

Содержание Mn в ягодах земляники садовой варьировало с менее выраженными различиями в пределах от 1,02 мг/кг ('Гейзер') до 4,10 мг/кг ('Торпеда'). Марганец обеспечивает синтез витамина C, является активным редокс-компонентом ряда энзимов, антагонистом Fe, Ni, Cu, Zn и в то же время синергистом Zn, Fe и Co, что подтверждает значимость соотношений между этими элементами в растительной клетке (Rebrov, Gromova, 2008).

Разница между min- и max-величинами концентраций Zn, Cu, Mo, Se в плодах земляники изучаемых сортов доходила до 2–3 раз. Относительно высокое содержание Zn (1,1–1,2 мг/кг) выявлено в ягодах сортов 'Торпеда'

Таблица 2. Минеральный состав ягод культуры земляники (Екатеринбург, 2024 г.)**Table 2. Mineral composition of strawberry fruits (Yekaterinburg, 2024)**

Элементы	Результаты исследований для сорта, мг/кг сырой массы						
	‘Аквадель’	‘Альтаир’	‘Гейзер’	‘Италмас’	‘Купчиха’	‘Торпеда’	‘Фестивальная’
Al	8,71 ± 0,31	0,62 ± 0,02	0,84 ± 0,03	0,43 ± 0,02	< 0,017	21,56 ± 1,05	0,21 ± 0,01
B	1,02 ± 0,05	1,20 ± 0,04	1,20 ± 0,05	1,01 ± 0,03	1,06 ± 0,04	1,21 ± 0,03	1,36 ± 0,05
Ba	1,28 ± 0,06	2,04 ± 0,12	1,61 ± 0,07	2,49 ± 0,14	1,70 ± 0,06	2,28 ± 0,11	1,42 ± 0,05
Ca	169,0 ± 7,2	169,2 ± 7,0	211,1 ± 9,7	265,0 ± 10,2	166,3 ± 6,8	220,0 ± 8,9	152,1 ± 6,2
Cd	< 0,0001	0,003 ± 0,001	< 0,0001	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,023 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Co	0,022 ± 0,002	< 0,001	0,008 ± 0,001	0,007 ± 0,001	0,012 ± 0,002	0,036 ± 0,002	0,007 ± 0,001
Cr	0,370 ± 0,014	0,018 ± 0,002	0,020 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,010 ± 0,001	0,510 ± 0,020	0,014 ± 0,001
Cu	0,24 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,66 ± 0,03	0,47 ± 0,02	0,49 ± 0,02	0,51 ± 0,01
Fe	14,20 ± 0,95	3,70 ± 0,15	2,46 ± 0,11	4,31 ± 0,20	3,01 ± 0,16	32,81 ± 2,04	3,10 ± 0,14
K	1643,0 ± 61,2	1624,2 ± 63,4	1891,0 ± 72,5	1550,1 ± 54,2	1221,2 ± 44,1	1817,2 ± 68,7	1993,0 ± 70,9
Mg	103,1 ± 4,2	111,3 ± 5,6	113,1 ± 4,9	123,0 ± 6,3	111,0 ± 5,2	129,0 ± 6,5	109,2 ± 5,1
Mn	1,24 ± 0,05	1,38 ± 0,09	1,02 ± 0,05	1,62 ± 0,06	1,60 ± 0,04	4,10 ± 0,18	2,16 ± 0,10
Mo	0,083 ± 0,002	0,061 ± 0,002	0,065 ± 0,002	0,120 ± 0,005	0,044 ± 0,001	0,058 ± 0,002	0,077 ± 0,003
Na	1,62 ± 0,05	2,28 ± 0,12	13,37 ± 0,93	11,41 ± 0,84	1,61 ± 0,06	2,79 ± 0,17	1,83 ± 0,07
Ni	0,16 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,21 ± 0,04	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,24 ± 0,01
P	332,1 ± 13,2	380,2 ± 15,7	403,0 ± 19,5	428,0 ± 21,6	337,3 ± 15,8	380,1 ± 16,1	439,0 ± 23,5
Pb	< 0,005	0,022 ± 0,001	< 0,005	0,049 ± 0,002	0,038 ± 0,002	0,030 ± 0,001	0,070 ± 0,003
Se	0,014 ± 0,001	< 0,005	0,018 ± 0,001	0,027 ± 0,002	< 0,005	0,018 ± 0,002	< 0,005
Si	20,69 ± 1,08	16,14 ± 0,93	13,88 ± 0,74	11,12 ± 0,58	10,66 ± 0,52	51,80 ± 2,44	14,54 ± 0,90
Sr	0,95 ± 0,03	1,37 ± 0,05	1,05 ± 0,04	1,50 ± 0,05	1,52 ± 0,04	1,18 ± 0,03	0,77 ± 0,02
Ti	0,69 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,09 ± 0,01	2,39 ± 0,15	0,10 ± 0,01
V	0,034 ± 0,002	< 0,001				0,100 ± 0,005	< 0,001
Zn	0,56 ± 0,02	0,81 ± 0,03	0,81 ± 0,02	0,83 ± 0,02	1,20 ± 0,05	1,07 ± 0,04	0,79 ± 0,02

и ‘Купчиха’, Cu (0,66 мг/кг), Mo (0,120 мг/кг), Se (0,027 мг/кг) – в ягодах сорта ‘Италмас’. Данные микроэлементы повышают активность фотосинтеза, что способствует накоплению хлорофилла. Цинк регулирует белковый, углеводный, фосфорный обмены, усиливает биосинтез гормонов роста, повышает стрессоустойчивость (Moptina, Kolesov, 2023). Медь и молибден участвуют в синтезе аминокислот и белков, медь входит в состав дыхательного фермента цитохромоксидазы и медьсодержащего белка пластоцианина (Kabata-Pendias, 2010). Селен оказывает влияние на ростовые процессы, зимостойкость, засухоустойчивость и продуктивность растений, смягчает действие окислительного стресса (Cunha, de Mello Prado, 2023).

Самый высокий уровень Co (0,022 и 0,036 мг/кг) установлен в ягодах двух сортов: ‘Аквадель’ и ‘Торпеда’, минимальный (0,007–0,008 мг/кг) – в ягодах трех сортов: ‘Гейзер’, ‘Италмас’, ‘Фестивальная’. Кобальт регулирует росто-

вые и ферментные процессы, повышает устойчивость хлорофилла, участвуя в окислительном фосфорилировании и фотосинтезе, в матричных синтезах, синтезе углеводов, жиров, кобаламина (Lange et al., 2018).

Группа вероятно необходимых микроэлементов была представлена Si, B, Sr, Ti, Ni, Cr, V. Межсортные различия в концентрациях Ti и Cr оказались значительными, до 27 и 51 раза соответственно.

Относительно высокое содержание Si (51,80 мг/кг) определено в плодах сорта ‘Торпеда’, что в 5 раз больше, чем в ягодах сорта ‘Купчиха’ (10,66 мг/кг). Земляника садовая активно поглощает Si из почвы, в результате повышается содержание как Si, так и элементов, необходимых для фотосинтеза, – P, K, S, Fe, Mn, Zn; увеличивается содержание хлорофилла, каротиноидов, растет биомасса корневой системы (Ambros et al., 2023).

Содержание бора в ягодах земляники варьировалось с менее выраженными различиями в пределах от

1,01 мг/кг ('Италмас') до 1,36 мг/кг ('Фестивальная'). Бор оказывает влияние на фотосинтез, на поступление азота и включение его в белковые соединения, на поглощение растениями К и Са (Kabata-Pendias, 2010).

В ягодах двух сортов ('Италмас', 'Купчиха') уровень Sr был одинаково высоким (1,50–1,52 мг/кг) на фоне остальных сортообразцов. Стронций тесно связан с кальцием в процессах биоминерализации и во время переноса из почвы в растение. Кальций противодействует стрессу стронция, а стронций, в свою очередь, может в определенной степени облегчить дефицит кальция, заменяя его, например, во время роста растений. Он берет на себя такую метаболическую функцию кальция, как поддержание активности ферментов (около 40% от нормы) (Ermakov, 2023).

Содержание Ti изменялось от 0,09 мг/кг ('Купчиха', 'Фестивальная') до 2,39 мг/кг ('Торпеда'). Титан усиливает поглощение Fe и Mg; участвует в окислительно-восстановительных реакциях, повышая активность Fe; стимулирует ферментативную активность и фотосинтез; увеличивает устойчивость к стрессам; повышает урожайность (Lyu et al., 2017).

Несколько больший уровень Ni (0,21–0,24 мг/кг) выявлен в плодах двух сортов: 'Италмас', 'Фестивальная'. Никель снижает полуденную депрессию фотосинтеза и способствует ночному поглощению углекислоты (Dubynina, 2022).

Содержание Cr в ягодах находилось в интервале 0,010–0,510 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Акварель'. Нетоксичные концентрации хрома могут вызывать некоторую стимуляцию физиологических процессов, в то время как высокие угнетают рост корней и надземной части растений, снижают биомассу, нарушают фотосинтез, повреждают мембраны (Bobkova, Kononov, 2020).

Присутствие V установлено только в двух сортах: 'Торпеда' (0,100 мг/кг) и 'Акварель' (0,034 мг/кг). Небольшие количества ванадия стимулируют синтез хлорофилла, обмен азота, усвоение питательных веществ, рост растений (Aihemaiti et al., 2019).

Из токсичных элементов были определены Al, Ba, Cd, Pb.

Высокое содержание Al выявлено в плодах сортов 'Торпеда' (21,56 мг/кг) и 'Акварель' (8,71 мг/кг), что соответственно в 102 и 41 раз больше, чем в ягодах сорта 'Фестивальная' (0,21 мг/кг). Алюминий вытесняет из клеток корней кальций, вызывая тем самым снижение проницаемости плазмалеммы, быстро блокирует ее сорбционные центры, что нарушает ионный обмен. В результате, наряду с Са, Al вызывает недостаточность Р, Fe, Mg, Mn, К, воды, нитратов для растений (Matsumoto, 2000).

Содержание Ba в ягодах находилось в интервале 1,28–2,49 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Италмас'. Барий по своим химическим свойствам близок к Sr и Са, являясь щелочноземельным элементом. Барий не относится к элементам, необходимым для жизни растений (Dubynina, 2022).

Особое значение имеют Cd и Pb, для которых биогенные функции не установлены, но уровень токсичности при этом чрезвычайно высок. Известно, что Cd негативно воздействует на метаболические процессы (фотосинтез, углеводный и азотный обмены), индуцирует окислительный стресс, нарушает водный баланс и поступление макро- и микроэлементов в растительные ткани (Kaznina, Titov, 2013). Pb ингибирует деление клеток и подавляет рост растительных тканей. Воздействие этих микро-

элементов на растительные клетки носит мутагенный характер, вызывая нарушения митоза и структурные повреждения хромосом (Bobkova, Kononov, 2020). В сравнительном аспекте повышенный уровень Cd выявлен в плодах сорта 'Торпеда' (0,023 мг/кг), Pb – в сорте 'Фестивальная' (0,070 мг/кг), что, однако, не превысило допустимых верхних пределов (для Cd – 0,03 мг/кг, для Pb – 0,4 мг/кг) их содержания в ягодах согласно требованиям ТР ТС 021/2011 (ТР ТС 021/2011..., 2024).

Далее соотносили удовлетворение суточной потребности в минеральных элементах за счет включения в пищевой рацион ягод разных сортов с нормами их потребления согласно МР 2.3.1.0253-21 (МР 2.3.1.0253-21..., 2021). Из научных работ (Akimov et al., 2019) следует, что одна порция (250 г) плодов земляники садовой позволяет обеспечить суточную потребность человека в К и Mg на 20%, Fe – на 6–10%, Cu – на 6%. Мы определили, что ягоды земляники того или иного наименования резких межсортных различий в обеспечении потребности в макроэлементах не имели (рис. 1, а), за исключением Na. Так, суточная потребность в Р может быть обеспечена на 12–16%, К – на 11–15%, Mg – на 6–8%, Са – на 4–7%, Na – на 0,03–0,26%.

Значительное преимущество по обеспечению организма человека микроэлементами установлено за ягодами сорта 'Торпеда' (рис. 1, б). Так, обеспеченность V за счет употребления порции этих плодов составит 166,7%, Co – 90,0%, Fe – 82,0%, Mn – 51,3%, Si – 43,3%, Se – 15,8%. Физиологическая роль V изучена недостаточно, однако его нейропротекторная и кардиопротекторная активность, участие в регуляции углеводного и жирового обмена вызывают интерес исследователей во всем мире (Ścibior et al., 2020). Согласно нормам другого действующего документа – МР 2.3.1.1915-04 (МР 2.3.1.1915-04..., 2004), верхний допустимый предел потребления V в составе диетических продуктов и БАД определен на уровне 100 мкг/сут. В этом аспекте порция ягод сорта 'Торпеда' содержит не более 25% от величины, являющейся пределом суточного потребления этого микроэлемента в составе специализированных продуктов питания.

Плоды земляники садовой сорта 'Акварель' смогут удовлетворить суточную потребность в Co и V на 55–56%, Fe – на 35,5%, Si – 17,2%, Mn – 15,5%; сорта 'Италмас' – потребность в Mn на 20,3%, Co – на 17,5%, Cu – на 16,5%; сорта 'Гейзер' – потребность в Co на 20,0% при прочих равнозначных показателях. Ягоды сортов 'Купчиха', 'Фестивальная' и 'Альтаир' уступают по обеспечению пищевого рациона Se, несмотря на относительно высокое содержание Co (30% от суточной потребности) и Mn (27% и 17% от суточной потребности) соответственно.

Относительно высокие уровни аккумуляции Al и Cr в плодах земляники сортов 'Торпеда' и 'Акварель' подвели к их детальному анализу на соответствие нормам потребления. Выявленные в последнее время токсические эффекты Al обуславливают риск развития различных заболеваний (рака молочной железы, слабоумия, синдрома Альцгеймера, болезни Паркинсона и др.) (Bagryanseva et al., 2016). В МР 2.3.1.0253-21 не регламентирована физиологическая потребность человека в Al. Однако из международной практики (European Food Safety Authority (EFSA), 2013) известны такие показатели, как безопасный уровень поступления Al за неделю из всех пищевых источников (TWI = 1 мг/кг массы тела), а также условно переносимый уровень потребления Al за неделю (PTWI = 0–2,0 мг/кг массы тела). Исходя из этого, употребление

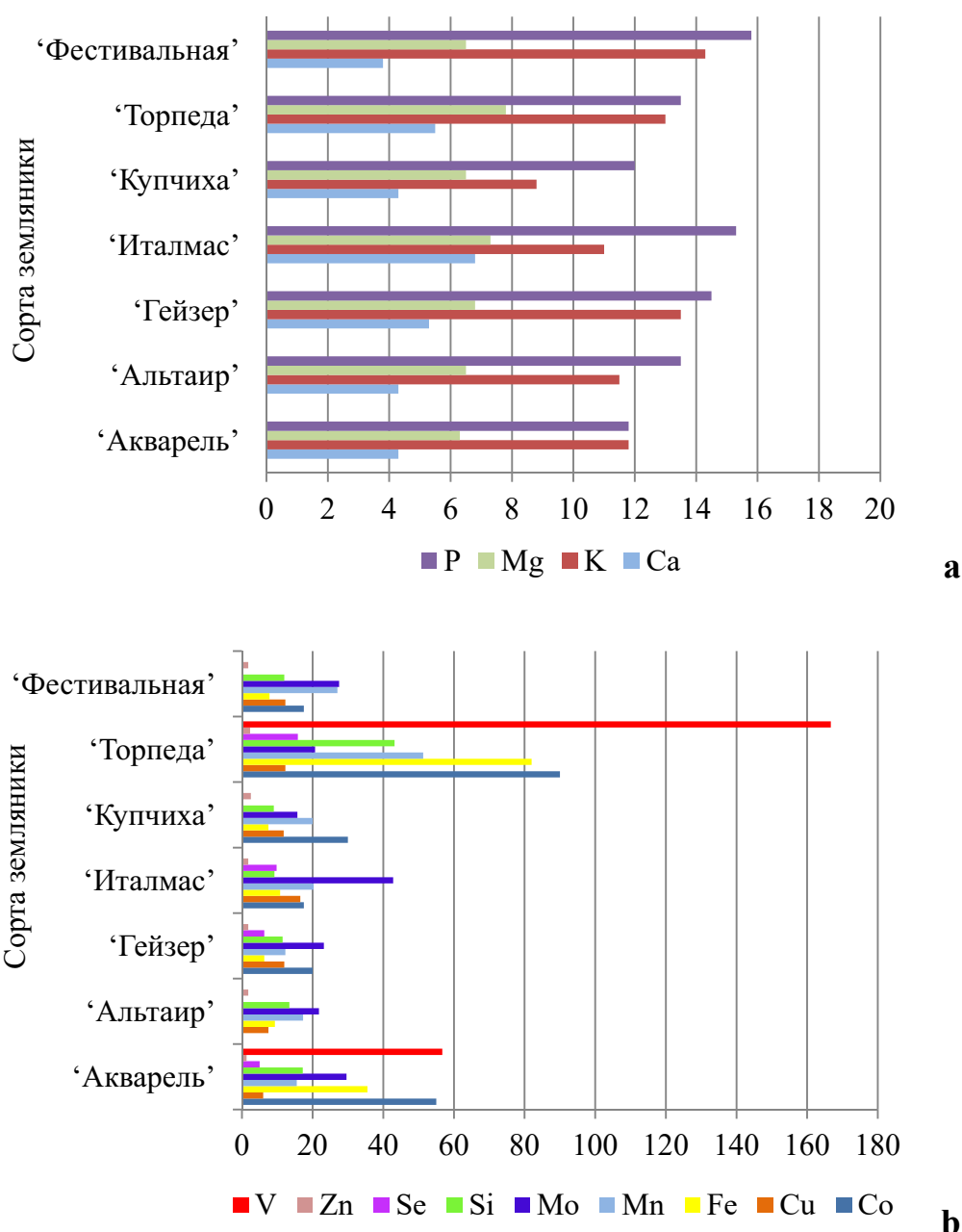


Рис. 1. Удовлетворение суточной потребности в минеральных веществах при употреблении 250 г ягод культуры земляники (%): а – обеспечение потребности в макроэлементах; б – обеспечение потребности в микроэлементах

Fig. 1. Meeting the daily requirements for minerals when consuming 250 g of strawberry fruits (%): a – meeting the need for macronutrients; b – meeting the need for micronutrients

порции ягод (250 г/сут.) сорта ‘Торпеда’ (или ‘Акварель’) взрослым человеком массой тела 60 кг достигнет 63% (или 25%) от безопасного и 31% (или 13%) от условно переносимого уровней потребления Al в сутки.

Согласно МР 2.3.1.0253-21, уточненная физиологическая потребность в Cr для взрослого человека составляет 40 мкг/сут., по нормам МР 2.3.1.1915-04 верхний допустимый предел потребления Cr в составе диетических продуктов и БАД определен на уровне 250 мкг/сут. Из сведений (Reutina, 2009), при тяжелых нагрузках и беременности потребление Cr увеличивается до 150–200 мкг/сут. В соответствии с этим употребление порции ягод земляники сорта ‘Торпеда’ (или ‘Акварель’) обеспе-

чит 318% (или 232%) суточной потребности в Cr, но не превысит предела его потребления, установленного для специализированных продуктов питания. Общеизвестно, что Cr участвует в регуляции синтеза жиров и обмена углеводов, обеспечивает поддержание уровня глюкозы в крови, регулирует работу сердца и кровеносных сосудов (Suslikov, 2002).

Проведенный корреляционный анализ между уровнями элементов в ягодах показал (рис. 2) наличие очень сильной линейной связи ($p < 0,001$) между комплексом элементов Al, V, Ti, Si, Fe, Cr, Co ($r = 0,91–1,0$), а также Cd и V, Ti, Si, Mn ($r = 0,91–0,97$). Сильная положительная взаимосвязь ($p < 0,01$) определена между Al и Mn, Cd ($r =$

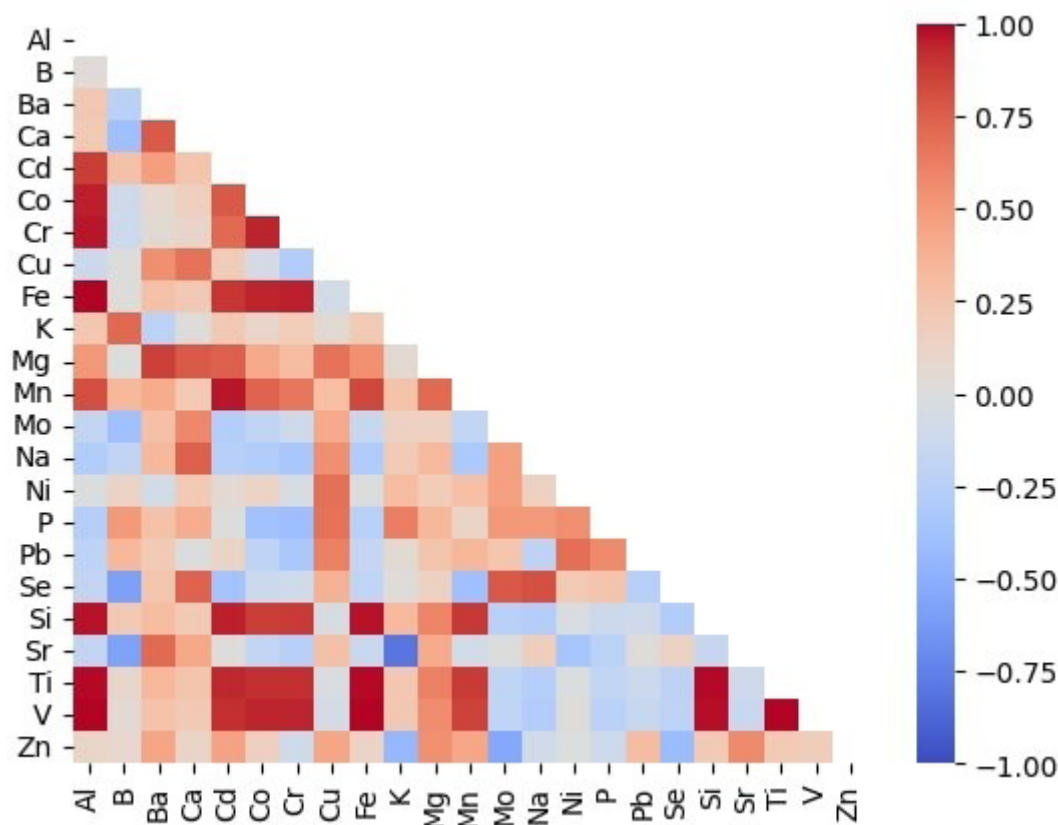


Рис. 2. Корреляционная матрица концентрации элементов в ягодах культуры земляники

Fig. 2. Correlation matrix of nutrient concentrations in strawberry fruits

0,81–0,87), B и K, Sr, Ca ($r = 0,72–0,77$), Ba и Mg ($r = 0,86$), Ca и Se, Na, Mg ($r = 0,74–0,77$), Cd и Mg, Fe, Cr, Co ($r = 0,72–0,89$), Co и Mn ($r = 0,74$), Fe и Mn ($r = 0,84$), Mg и Mn ($r = 0,71$), Mn и V, Ti, Si ($r = 0,86–0,89$), Mo и Se ($r = 0,78$), Na и Se ($r = 0,81$), Ni и Pb ($r = 0,70$). Отрицательная корреляция установлена в паре K и Sr ($r = -0,81$). Таким образом, применение каких-либо агротехнических приемов, направленных на снижение накопления Al, Cr, V или Cd в плодах земляники исследуемых сортов, будет одновременно способствовать уменьшению уровней эссенциальных и условно эссенциальных элементов – Fe, Mn, Co, Si и, как следствие, Mg, Ca и Se в ягодах.

Заключение

В ягодах земляники садовой среднего срока созревания выявлено 23 минеральных элемента, содержание которых варьировалось в зависимости от сорта. Генетическим источником высокого суммарного накопления макро- и микроэлементов в плодах является сорт 'Торпеда'.

Исходным материалом для селекционной работы в направлении накопления эссенциальных и условно эссенциальных элементов – Cr, V, Co, Fe, Mn, Si – в ягодах с целью дальнейшего производства специализированных продуктов питания на их основе можно рассматривать сорт 'Торпеда', для накопления Cr, V, Co, Fe, Mo – сорт 'Акварель'. В качестве генетического источника Mo предлагается использовать сорт 'Италмас', Co – сорт 'Купчиха'.

Полученные данные имеют большое практическое значение в разработке стратегии улучшения культуры земляники в Свердловской области.

References / Литература

- Aihemaiti A., Gao Y., Meng Y., Chen X., Liu J., Xiang H. et al. Review of plant-vanadium physiological interactions, bioaccumulation, and bioremediation of vanadium-contaminated sites. *The Science of the Total Environment*. 2019;712:135637. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135637
- Akanova N.I., Kozlova A.V., Mukhina M.T. Magnesium role in plant nutrition system. *Agrochemical Herald*. 2021;(6):66-72. [in Russian] (Аканова Н.И., Козлова А.В., Мухина М.Т. Роль магния в системе питания растений. *Агрохимический вестник*. 2021;(6):66-72). DOI: 10.24412/1029-2551-2021-6-014
- Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Makarov V.N., Perova I.B., Shevyakova L.V., Vrzhesinskaya O.A. et al. Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties. *Problems of Nutrition*. 2019;88(2):64-72. [in Russian] (Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Макаров В.Н., Перова И.Б., Шевякова Л.В., Вржесинская О.А. и др. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники. *Вопросы питания*. 2019;88(2):64-72). DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10019
- Ambros E.V., Krupovich E.S., Kolmogorov Yu.P., Trofimova E.G., Gusev I.S., Goldenberg B.G. Modulation of growth and chemical element accumulation in *Fragaria × ananassa* plants *in vivo* under the effect of silicon chelates. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(4):494-505. [in Russian] (Амброс Е.В., Крупович Е.С., Колмогоров Ю.П., Трофимова Е.Г., Гусев И.С., Гольденберг Б.Г. Модуляция роста и аккумуляции химических элементов в растениях *Fragaria × ananassa* в условиях *in vivo* под действием хелатов кремния. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*.

- 2023;13(4):494-505). DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-494-505
- Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Besonov V.V., Arnautov O.V. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers. *Health Risk Analysis*. 2016;(1):49-57.
- Bobkova V.V., Konovalov S.N. Regularities of accumulation of heavy metals by strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants from soddy-podzoly soil using adsorbents based on mineral and polymeric substances. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020;62:152-164. [in Russian] (Бобкова В.В., Коновалов С.Н. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов растениями земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) из дерново-подзолистой почвы при использовании адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020;62:152-164). DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-152-164
- Cunha M.L.O., de Mello Prado R. Synergy of selenium and silicon to mitigate abiotic stresses: a review. *Gesunde Pflanzen*. 2023;75(14):1461-1474. DOI: 10.1007/s10343-022-00826-9
- Dubynina S.S. The accumulation of trace elements in the aboveground mass of plant life forms in the geosystems of the Onon-Argun steppe. *Geographical Bulletin*. 2022;2(61):109-122. [in Russian] (Дубынина С.С. Особенности накопления микроэлементов в растениях жизненных форм надземной массы в геосистемах Онон-Аргунской степи. *Географический вестник*. 2022;2(61):109-122). DOI: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122
- Eliseeva L.G., Blinnikova O.M. Differentiation of promising fruit and berry crops' varieties in the content of biologically active substances. *Food Industry*. 2013;(6):50-52. [in Russian] (Елисеева Л.Г., Блинная О.М. Дифференцирование перспективных сортов плодово-ягодных культур по содержанию биологически активных соединений. *Пищевая промышленность*. 2013;(6):50-52).
- Ermakov V.V. Strontium in the biosphere (Strontsiy v biosphere). Novosibirsk: Akademizdat; 2023. [in Russian] (Ермаков В.В. Стронций в биосфере, Новосибирск: Академиздат; 2023).
- European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Technical report. *EFSA Supporting Publications*. 2013;10(4):411E. DOI: 10.2903/sp.efsa.2013.EN-411
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2010. DOI: 10.1201/b10158
- Kaznina N.M., Titov A.F. The influence of cadmium on physiological processes and productivity of Poaceae plants. *Advances in Current Biology*. 2013;133(6):588-603. [in Russian] (Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae. *Успехи современной биологии*. 2013;133(6):588-603).
- Khalil N.H., Hammoodi J.K. Effect of nitrogen, potassium and calcium in strawberry fruit quality. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2020;16 Suppl 1:1967-1972.
- Kouam I.D., Mounang S., Koulagna H.I., Ntsoli G.P., Titti R.W., Yaouba A. Influence of organic and mineral fertilizers and a foliar biostimulant on the yield and nutritional quality of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) under field conditions. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2024;117:104917. DOI: 10.1016/j.bse.2024.104917
- Lambers H. Phosphorus acquisition and utilization in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2022;73:17-42. DOI: 10.1146/annurev-arplant-102720-125738
- Lange B., Delhay G., Boisson S., Verbruggen N., Meerts P., Facon M.P. Variation in copper and cobalt tolerance and accumulation among six populations of the facultative metallophyte *Anisopappus chinensis* (Asteraceae). *Environmental and Experimental Botany*. 2018;153:1-9. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.04.009
- Lyu S., Wei X., Chen J., Wang C., Wang X., Pan D. Titanium as a beneficial element for crop production. *Plant Science*. 2017;8:597. DOI: 10.3389/fpls.2017.00597
- Matsumoto H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *International Review of Cytology*. 2000;200:1-46. DOI: 10.1016/S0074-7696(00)00001-2
- Montina I.M., Kolesov A.V. The role of mineral nutrition in plant life. *Problemy sovremennoy nauki i innovatsii = Problems of Modern Science and Innovations*. 2023;(3):12-17. [in Russian] (Монтин И.М., Колесов А.В. Роль минерального питания в жизни растений. *Проблемы современной науки и инновации*. 2023;(3):12-17).
- MR 2.3.1.0253-21 Guidelines "Norms of physiological requirements for energy and nutrients in various groups of the population of the Russian Federation (Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii)". Moscow: Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare; 2021. [in Russian] (Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2021).
- MR 2.3.1.1915-04 Guidelines "Recommended levels of consumption of dietary and bioactive compounds (Rekomenduyemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskikh aktivnykh veshchestv)". Moscow: Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare; 2004. [in Russian] (Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ». Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2004).
- MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03 Guidelines "Determination of chemical elements in biological environments and preparations by methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry with inductively coupled plasma (Opredeleniye khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i preparatakh metodami atomno-emissionnoy spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy i mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy)". Moscow: Russian Ministry of Health; 2003. [in Russian] (Методические указания МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой». Москва: Минздрав России; 2003).
- Mukailov M.D., Ulchibekova N.A., Kurbanov M.S. Changes in the chemical composition of strawberry (*Fragaria ananassa* L.) at low-temperature freezing and storage. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;(2):118-125. [in Russian] (Мукайлов М.Д., Улчибекова Н.А., Курбанов М.С. Изменение химического состава ягод земляники (*Fragaria*

- ananassa* L.) при низкотемпературном замораживании и хранении. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017;(2):118-125).
- Preciado-Rangel P., Troyo-Diéguez E., Valdez-Aguilar L.A., García-Hernández J.L., Luna-Ortega J.G. Interactive effects of the potassium and nitrogen relationship on yield and quality of strawberry grown under soilless conditions. *Plants (Basel)*. 2020;9(4):441. DOI: 10.3390/plants9040441
- Prichko T.G., Yakovenko V.V., Germanova M.G. Varietal differences in the chemical composition of strawberry fruits in Krasnodar Territory (Sortovye razlishiya khimicheskogo sostava yagod zemlyaniki Krasnodarskogo kraja). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2011;27:209-219. [in Russian] (Причко Т.Г., Яковенко В.В., Германова М.Г. Сортовые различия химического состава ягод земляники Краснодарского края. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2011;27:209-219).
- Rebrov V.G., Gromova O.A. Vitamins, macro- and micronutrients (Vitaminy, makro- i mikroelementy). Moscow: GEOTAR-Media; 2008. [in Russian] (Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. Москва: ГЕОТАР-медиа; 2008).
- Reutina S.V. The role of chromium in the person's organism. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2009;(4):50-55. [in Russian] (Реутин С.В. Роль хрома в организме человека. *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009;(4):50-55).
- Ścibior A., Pietrzyk Ł., Plewa Z., Skiba A. Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multiapplications with a summary of further research trends. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020;61:126508. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126508
- Singh A., Singh B.K., Brajendra A.N., Deka B.C. Studies on the variability, inheritance, and inter-relationships of mineral macro-nutrients and micro-nutrients in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2010;85(6):551-555. DOI: 10.1080/14620316.2010.11512713
- Suslikov V.L. Geochemical ecology of diseases. Vol. 3. Atomovitozes (Geokhimicheskaya ekologiya bolezney. T. 3. Atomovitozy). Moscow: Gelios ARV; 2002. [in Russian] (Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т. 3. Атомовитозы. Москва: Гелиос АРВ; 2002).
- TR TS 021/2011. Technical Regulations of the Customs Union. On food safety (as amended on April 22, 2024). Moscow: Commission of the Customs Union; 2024. [in Russian] (ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 22 апреля 2024 г.). Москва: Комиссия Таможенного союза; 2024). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> [дата обращения: 15.01.2025].

Информация об авторах

Наталья Леонидовна Наумова, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

Татьяна Николаевна Слепнева, научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, tatyana_slepneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0065-9644>

Ольга Александровна Павлова, младший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, pavlova.olga.81@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7983-3757>

Information about the authors

Natalya L. Naumova, Dr. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

Tatyana N. Slepneva, Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, tatyana_slepneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0065-9644>

Olga A. Pavlova, Associate Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, pavlova.olga.81@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7983-3757>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.01.2025; одобрена после рецензирования 09.04.2025; принята к публикации 23.04.2025. The article was submitted on 21.01.2025; approved after reviewing on 09.04.2025; accepted for publication on 23.04.2025.