

## Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>  
УДК: 634.75:631.82

Л.А. Марченко\*, С.В. Акимова,  
А.В. Соловьев, С.С. Макаров,  
Е.Г. Самощенко, Г.Э. Тер-Петросянц,  
А.В. Зубков

Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К.А.Тимирязева  
Россия, 127434, г. Москва,  
Тимирязевская ул., 49

\*Автор для переписки:  
l.marchenko@rgau-msha.ru

**Конфликт интересов.** С.В. Акимова является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2023 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

**Вклад авторов:** Марченко Л.А., Соловьев А.В.: концептуализация; Марченко Л.А., Соловьев А.В., Самощенко Е.Г.: методология; Марченко Л.А., Акимова С.В., Тер-Петросянц Г.Э.: проведение исследования; Марченко Л.А., Акимова С.В.: администрирование данных; Марченко Л.А., Акимова С.В., Тер-Петросянц Г.Э., Зубков А.В.: создание черновика рукописи; Марченко Л.А., Акимова С.В.: создание рукописи и её редактирование; Соловьев А.В., Макаров С.С.: руководство исследованием.

**Для цитирования:** Марченко Л.А., Акимова С.В., Соловьев А.В., Макаров С.С., Самощенко Е.Г., Тер-Петросянц Г.Э., Зубков А.В. Роль минеральных элементов в питании растений земляники садовой. *Овощи России*. 2024;(5):79-83.  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>

**Поступила в редакцию:** 19.08.2024

**Принята к печати:** 19.09.2024

**Опубликована:** 27.09.2024

Liudmila A. Marchenko\*, Svetlana V. Akimova,  
Alexandr V. Solovyev, Sergey S. Makarov,  
Egor G. Samoshchenkov,  
Georg E. Ter-Petrosyants, Alexandr V. Zubkov

Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
49, Timiryazevskaya street,  
Moscow, 127434, Russia

\*Correspondence Author:  
l.marchenko@rgau-msha.ru

**Conflict of interest.** Akimova S.V. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2023, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

**Authors Contribution:** Marchenko L.A., Solovyev A.V.: conceptualization; Marchenko L.A., Solovyev A.V., Samoshchenkov E.G.: methodology; Marchenko L.A., Akimova S.V., Ter-Petrosyants G.E.: study implementation; Marchenko L.A., Akimova S.V.: data administration; Marchenko L.A., Akimova S.V., Ter-Petrosyants G.E., Zubkov A.V.: manuscript drafting; Marchenko L.A., Akimova S.V.: manuscript drafting and editing; Solovyev A.V., Makarov S.S.: study supervision.

**For citation:** Marchenko L.A., Akimova S.V., Solovyev A.V., Makarov S.S., Samoshchenkov E.G., Ter-Petrosyants G.E., Zubkov A.V. Role of mineral elements in nutrition of garden strawberry plants. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):79-83. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>

**Received:** 19.08.2024

**Accepted for publication:** 19.09.2024

**Published:** 27.09.2024

# Роль минеральных элементов в питании растений земляники садовой

Check for updates



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Увеличение мирового производства плодов земляники садовой обусловлено высокой востребованностью продукции для потребления в свежем виде, а также в качестве сырья для переработки. Лидирующими странами являются: КНР, США, Турция, Египет, Мексика, Испания, Россия, Польша, Южная Корея, Бразилия. Нарастание объёмов производства обеспечивается за счет высокой продуктивности новых сортов и интенсификации технологий выращивания культуры земляники и в частности питания растений. Возможность управления питанием растений земляники садовой является одной из приоритетных задач от решения которой зависит реализация потенциала продуктивности растений, а также качество получаемой продукции Роль многих макро- и микроэлементов в питании растений до конца не изучена. Проводятся многочисленные исследования по выявлению механизмов их поглощения и перемещения в растениях земляники. Изучаются новые формы удобрений, позволяющие эффективно влиять на процессы роста и развития растений, минимизировать воздействие на окружающую среду.

**Результаты.** Статья посвящена обзору роли основных минеральных макро- и микроэлементов в питании растений, какими являются азот, фосфор, калий, магний, кальций, железо, кремний, молибден. На основе анализа литературных источников рассмотрено влияние отдельных минеральных элементов на физиологические процессы, связанные с ростом и развитием земляники садовой. Приведены сведения о реакции растений на оптимальное содержание, избыток и дефицит отдельных элементов, возможности их поступления и усвоения растениями земляники садовой. Применение на практике мирового опыта по управлению минеральным питанием может значительно улучшить существующие технологии возделывания земляники в открытом и защищённом грунте.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

минеральные элементы, земляника садовая, питание растений

# Role of mineral elements in the nutrition of garden strawberry plants

## ABSTRACT

**Relevance.** The increase in global production of garden strawberry fruit is due to the high demand for the products for fresh consumption and as raw material for processing. The leading countries are: PRC, USA, Turkey, Egypt, Mexico, Spain, Russia, Poland, South Korea, Brazil. Increase in production volumes is provided due to high productivity of new varieties and intensification of strawberry cultivation technologies and, in particular, plant nutrition. The possibility of managing the nutrition of garden strawberry plants is one of the priority tasks from the solution of which depends on the realization of the potential of plant productivity, as well as the quality of the resulting products The role of many macro- and microelements in plant nutrition is not fully understood. Numerous studies are conducted to identify the mechanisms of their absorption and movement in strawberry plants. New forms of fertilizers are being studied, allowing to effectively influence the processes of growth and development of plants, minimize the impact on the environment.

**Results.** The article is devoted to the review of the role of the main mineral macro- and microelements in plant nutrition, such as nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, iron, silicon, molybdenum. Based on the analysis of literary sources, the influence of certain mineral elements on physiological processes associated with the growth and development of garden strawberries is considered. The data on reaction of plants to the optimal content, excess and deficiency of certain elements, possibilities of their receipt and assimilation by plants of garden strawberries are given. Application in practice of the world experience on management of mineral nutrition can significantly improve the existing technologies of strawberry cultivation in open and protected ground.

## KEYWORDS:

mineral elements, garden strawberries, plant nutrition

**Обзор**

**Н**аращивание объёмов производства плодов земляники садовой в мире обусловлено высокой востребованностью продукции как в свежем виде, так и в качестве сырья для переработки пищевой и фармацевтической продукции. В 2022 году в мире произведено 8 367 млн. т. плодов земляники. Лидирующими странами являются: КНР (3,35 тыс. т), США (1,26 тыс. т), Турция (0,728 тыс. т), Египет (0,638 тыс. т), Мексика (0,568 тыс. т), Испания (0,326 тыс. т), Россия (0,255 тыс. т), Польша (0,199 тыс. т), Южная Корея (0,193 тыс. т), Бразилия (0,184 тыс. т) [1].

Производство продолжает расти за счёт интенсификации, совершенствования сортимента культуры, развития технологий, обеспечивающих реализацию генетического потенциала новых сортов. Ведущая роль в увеличении производства продукции культуры принадлежит сорту [2]. Однако, с развитием агротехнологий, их вклад в реализацию потенциала продуктивности культуры приобретает лидирующие позиции [3,4]. Среди ряда факторов, обеспечивающих рост и развитие растений, большое значение играют минеральные элементы [5].

Современные технологии выращивания земляники садовой из всех существующих для ягодных культур достигли наибольшей интенсификации. Производство плодов в однолетней культуре стало возможным на основе изменения многих подходов в технологических этапах выращивания [6].

Уход от влияния многих негативных для культуры факторов окружающей среды (низкие отрицательные температуры, возвратные заморозки во время цветения, избыточное увлажнение или засуха, повышенные температуры, поражение болезнями, повреждение вредителями и т.п.) обеспечивают технологии возделывания земляники садовой в защищённом грунте [7]. Однако, снижая отрицательный эффект воздействия отдельных факторов, такое производство влечёт необходимость контролировать условия роста и развития возделываемых растений. Зачастую усложняются процессы, связанные с питанием, где существенно важно обеспечить реализацию потенциала продуктивности и не повлиять на снижение качества получаемой продукции [8].

Большинство производимых плодов и ягод употребляется в свежем виде для восполнения нехватки витаминов, минеральных веществ и биохимических компонентов, напрямую влияющих на здоровье человека. Сохранение ценных питательных и диетических свойств продукции садоводства остается важнейшей приоритетной задачей развития отрасли.

Оптимизация процессов управления питанием растений земляники садовой является одной из важнейших задач от выполнения которой зависит как повышение продуктивности растений, так и качество получаемой продукции [9].

Таким образом, изучение роли минеральных элементов в питании земляники, является актуальным исследованием в вопросах усовершенствования агротехнологий для обеспечения производства безопасных и качественных продуктов питания.

Азот (N) является важнейшим элементом для растений, играет жизненно важную роль в построении белковых молекул, ферментов, коферментов, нуклеиновых кислот и цитохромов, отвечает за рост, играет значительную роль в фотосинтезе и росте растений [10,11].

Основная часть азотсодержащих удобрений вносится перед посадкой растений или в первой половине вегетации [12].

Так как растения земляники на протяжении всего периода вегетации закладывают генеративные и вегетативные почки, а ростовые процессы практически не останавливаются, то необходимость в поступлении азота существует постоянно [13].

Кроме основного внесения или заправки субстрата азотными удобрениями применяют дополнительные подкормки азотными удобрениями при фертигации, а также применяют биодоброудобрения, содержащие азот, в виде листовых обработок. В опытах Rostami M. et al. (2022) внекорневое внесение гуминовой кислоты в сочетании с основным внесением минеральных удобрений увеличивало проницаемость клеток и приводило к более высокому усвоению питательных веществ растением, что улучшало их вегетативный рост и, как следствие, повышало урожайность земляники [14].

Формы внесения азота и их сочетание активно изучаются с целью повышения эффективности усвоения элемента растениями [15].

Недостаток азота негативно сказывается на росте растений земляники, количестве образуемых листьев и их размере. В фазы быстрого роста листья растений с дефицитом азота остаются маленькими и могут изменить цвет с зелёного на светло-зелёный или жёлтый (наблюдается хлоротичность). В конечном итоге, из-за слабости растений и недостаточного объёма листового аппарата, недостаток азота сказывается на продуктивности и количестве получаемого урожая [16].

Чрезмерное внесение азота приводит к его накоплению во всех тканях и органах растения. Это проявляется в виде увеличения размеров листьев, их количества [17], может приводить на фоне избыточного вегетативного роста к снижению цветения и плодоношения, повышению восприимчивости к болезням [18].

Избыток азота отрицательно сказывается на качестве плодов, ухудшая их вкус и ослабляя аромат [19].

Чрезмерное азотное питание приводит к накоплению в плодах земляники нитратов, что отрицательно сказывается на их лёжкости и транспортабельности, а их накопление в плодах (свыше 100 мг/кг) может приводить к пищевому отравлению [20,21].

Для регулирования азотного питания растений земляники требуется постоянная листовая диагностика выноса элемента [22].

Фосфор (P) – один из основных питательных элементов, играющих жизненно важную роль на всех этапах роста и развития растения земляники садовой [23].

При дефиците фосфора листья мельчают и приобретают темно-зелёную окраску. Замедляется рост растения и задерживается созревание плодов [24].

Taiz L. и Zeiger E. (2002) выявили регуляторную функцию фосфора: при дефиците элемента в тканях растений избыточно накапливается азот [25].

Фосфор играет важную роль во многих процессах, связанных с переносом энергии посредством АДФ (аденозиндифосфат) и АТФ (аденозинтрифосфат) [26]. Элемент необходим для развития новых клеток, для многих физиологических процессов [27].

Исследования Cao F. et al. (2015) по изучению влияния внекорневых подкормок фосфорными удобрениями, позволили установить положительную корреляцию ( $r = 0,95$ ) между содержанием растворимых сухих веществ и фосфора (P) в полностью созревших плодах земляники у 24 изучаемых сортов [28].

Избыток фосфора, получаемого с некорневыми подкормками может привести к снижению общего количества растворимых сухих веществ в плодах и влияет на их вкус (повышение кислотности и снижение сахаристости) [29].

Калий (K) играет важную биохимическую и биофизическую роль в растениях - участвует в активации многих процессах, связанных с фотосинтезом, синтезом белков, сахаров крахмала, и регулированием водного баланса [30,31].

Калий регулирует осмотический потенциал растений, способствует повышению тургора клеток во время смыкания и размыкания устьиц [32].

Поглощение элемента происходит главным образом после начала вегетативного роста, цветения и начала созревания плодов, когда большое его количество переносится из листьев в плоды. Урожайность и качество плодов земляники в значительной степени зависят от обеспечения растений необходимым количеством калия [33], отвечающего за перенос питательных веществ в растении, а также транспирацию, регуляцию механизмов устойчивости к недостатку воды в растениях [34]. Элемент способствует увеличению фенольного состава и антиоксидантной активности плодов земляники [35].

Повышенное содержание калия в питательных растворах препятствует росту корней земляники и приводит к снижению продуктивности растений. Избыточное накопление элемента в плодах, при поступлении его с фертигацией, приводит к увеличению их кислотности и уменьшает размер, что также снижает урожайность [36].

Недостаток калия приводит к нарушению баланса K:N и сказывается на снижении урожайности земляники [37].

Магний (Mg) – необходимый для растений элемент, поскольку он способствует фиксации углекислого газа для фотосинтеза, от него зависит синтез хлорофилла, образование белка. Его оптимальное содержание способствует усвоению основных питательных элементов и высокой урожайности [38].

Магний положительно влияет на рост корней и вегетативной массы растений, повышает морозо- и засухоустойчивость, обеспечивает стрессоустойчивость при высокой инсоляции и температурах воздуха [39,40].

Дефицит элемента, особенно на ранних стадиях онтогенеза растений, приводит к нарушениям их роста и развития [41].

Кальций (Ca) участвует в построении клеток корней, листьев, плодов земляники. От его наличия зависит нормальный рост и последующее развитие растений. Кальций участвует в образовании пектиновых соединений, которые связывают клеточные стенки, а также в формировании оболочек клетки, что приводит к увеличению твердости плодов [42].

Как и фосфор кальций необходим в начале вегетации, когда происходит интенсивное наращивание корневой системы растения и рост молодых листьев. Высокая потребность в кальции сохраняется до начала цветения. Ещё один пик приходится на период созревания плодов. Благодаря увеличению его концентрации в начале роста и развития плодов, снижаются дыхательные процессы, происходящие в клетках, задерживается процесс созревания, что приводит к утолщению клеточной стенки и повышает твердость плодов, это косвенным образом уменьшает возможность биологического заражения продукции при хранении и транспортировке [43].

Кальций играет большую роль в продлении срока хранения ягод [44].

Внесение кальция в почву известкованием способствует накоплению элемента в молодых всасывающих корнях, однако этот приём эффективен при низком уровне pH почвы. Кальций является неподвижным питательным элементом и его внесение через почву не слишком эффективно [45].

Внекорневая подкормка – это более надёжный метод доставки кальция к нужным органам растения [46]. Для некорневых подкормок применяют формы удобрений, содержащие легкоусвояемые формы элемента. Так, применение кальция-EDTA (рабочее название “Pusti-Ca”) в исследованиях Pandeya S. и Shrestha A.K. (2023), повлияло на улучшение качества плодов земляники – повысило содержание сахаров в плодах, увеличило

их твёрдость и снизило количество плодов, заражённых серой гнилью [47].

Железо (Fe) – один из важнейших микроэлементов в жизни растений, участвует во многих окислительно-восстановительных реакциях, дыхании, фотосинтезе и биосинтезе хлорофилла [48].

Элемент является компонентом многих жизненно важных растительных ферментов. При недостатке железа нарушается фотосинтетическая активность, наблюдается хлоротичность листьев и угнетение всех функций растений [49].

Наиболее эффективно для восполнения недостатка железа применять хелатные удобрения, сульфат железа, а также синтетические органические или минеральные продукты с замедленным высвобождением элемента [50].

Использование подкормок Fe-EDDHA в исследованиях Duralijaa B. et al. (2022) значительно увеличивает содержание сухих веществ и сахаров в плодах земляники [51].

Цинк (Zn) играет важную роль в синтезе макромолекул, белка, триптофана что способствует нарастанию биомассы растений (увеличению количества и площади листьев, количества цветков), способствует лучшей завязываемости плодов, увеличению размеров ягод, их твёрдости [52].

При испытании удобрений нано-Zn Carlesso et al. (2018) установили влияние цинка на повышение сахаристости плодов земляники [53].

Внекорневое внесение цинка и бора в исследованиях Elahshah A.A. et al. улучшало усвоение азота и играло ведущую роль в завязывании плодов [54].

Вместе с тем, избыточное количество Zn может вызвать фитотоксичность, приводящую к нарушению баланса питательных веществ в растениях и снижению содержания хлорофилла [55].

Выявлено, что кремний (Si) необходим для роста и развития растений. Он способствует ускорению фотосинтеза [56]. Кремний повышает эффективность использования азота, регулирует усвоение фосфора и микроэлементов [57].

Подтверждена значительная роль кремния в снижении отрицательного влияния высоких температур на растения [58,59].

В исследованиях Kowalska et al. наибольший эффект прибавки урожая был достигнут при сочетании почвенного и внекорневого внесения кремния [60].

Применение кремния способствует повышению содержания растворимого сахара в плодах земляники [61].

В исследованиях Javier F.P.-F. et al. применение кремния в корневом питании и некорневых обработках на растениях земляники дало положительный эффект по повышению продуктивности растений, увеличению размера плодов, их сахаристости, твёрдости и лёжкости, продлевая срок хранения на 2 дня [62].

Молибден (Mo) активизирует многие физиологические и биохимические процессы, происходящие в растениях. Улучшает усвоение N и Fe, способствует увеличению содержания в плодах земляники сахаров и кислот, повышает ароматичность ягод [63].

### Заключение

Роль многих макро- и микроэлементов в питании растений до конца не изучена. Проводятся многочисленные исследования по выявлению механизмов их поглощения и перемещения в растениях земляники. Изучаются новые формы удобрений, позволяющие эффективно влиять на процессы роста и развития растений, минимизировать воздействие на окружающую среду.

Применение на практике мирового опыта по моделированию минерального питания может значительно улучшить существующие технологии возделывания земляники в открытом и защищённом грунте.

## • Литература / References (In Russ.)

1. <https://www.tridge.com/production?code=0544&producer=WL>.
2. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Изд-во Агрорус. 2009. 1104 с. [Zhuchenko A.A. Adaptive plant growing (ecological and genetic foundations). Theory and practice. Moscow: Agrorus Publishing House. 2009. 1104 p.] (In Russ.)
3. Трухачев В.И. Интенсивные технологии в развитии отечественного садоводства. *Экономика сельского хозяйства России*. 2020;(3):44–47. <https://doi.org/10.32651/203-44> <https://elibrary.ru/ftctet> [Truhachev V.I. Intensive technologies in the development of domestic horticulture. *Ekonomika sel'skogo hozaystva Rossii*. 2020;(3):44–47. <https://doi.org/10.32651/203-44> <https://elibrary.ru/ftctet>] (In Russ.)
4. Мишуrow Н.П., Федоренко В.Ф., Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю., Воробьев В.Ф., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинько О.В., Войтюк В.А. Инновационные технологии выращивания высококачественного посадочного материала многолетних плодово-ягодных культур. Аналитический обзор. М., 2020. 96 с. [Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A., Lancev V.Yu., Vorob'ev V.F., Kondrat'eva O.V., Fedorov A.D., Slin'ko O.V., Vojtyuk V.A. Innovative technologies for growing high-quality planting material of perennial fruit and berry crops. Analytical review. Moscow, 2020. 96 p.] (In Russ.)
5. Овсянников Ю.А. О Единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования. *Аграрный вестник Урала*. 2022;1(216):39–46. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46> <https://elibrary.ru/ebvdxj> [Ovsyannikov Yu.A. On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2022;1(216):39–46. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46> <https://elibrary.ru/ebvdxj>] (In Russ.)
6. Hernández-Martínez N.R., Blanchard C., Wells D., Salazar-Gutiérrez M.R. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*. 2023; (312):111893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>
7. Zhang Yu., Yasutake D., Hidaka K., Kitano M., Okayasu T. CFD analysis for evaluating and optimizing spatial distribution of CO<sub>2</sub> concentration in a strawberry greenhouse under different CO<sub>2</sub> enrichment methods. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020;(179):105811. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105811>
8. Shahini E., Berxolli A., Kovalenko O., Markova N., Zadorozhnyi Yu. Features of growing garden strawberries in open ground conditions. *Scientific Horizons*. 2023;26(7):106–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.106>
9. Bhagat P., Panigrahi H. Effect of bio-fertilizers on growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Nabila under net tunnel. *The Pharma Innovation Journal*. 2020;9(1):442–446. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2020/vol9issue1/PartH/9-1-38-229>
10. Rostami M., Shokouhian A. & Mohebodin M. Effect of Humic Acid, Nitrogen Concentrations and Application Method on the Morphological, Yield and Biochemical Characteristics of Strawberry 'Paros'. *International Journal of Fruit Science*. 2022;22(1):203–214. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2022566>
11. Shen H., Dong S., Xiao J., & Zhi, Y. Effects of N and P enrichment on plant photosynthetic traits in alpine steppe of the Qinghai-Tibetan Plateau. *BMC Plant Biology*. 2022;(396):2–11. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03781-9>
12. Farjana S., Park I.S. & Choi J.M. Impact of controlled nitrogen application in water solution on seedling growth, tissue and soil nutrient concentrations in vegetative propagation of strawberry. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2023;(64):41–50. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00460-4>.
13. Farjana S., Park I.S., & Choi J.M. Impact of controlled nitrogen application in water solution on seedling growth, tissue and soil nutrient concentrations in vegetative propagation of strawberry. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2023;1(2):1–10. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00460-4>
14. Rostami M., Shokouhian A. & Mohebodin M. Effect of Humic Acid, Nitrogen Concentrations and Application Method on the Morphological, Yield and Biochemical Characteristics of Strawberry 'Paros'. *International Journal of Fruit Science*. 2022;22(1):203–214. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2022566>.
15. Rueda D., Valencia G., Soria N., Rueda B.B., Manjunatha B., Kundapur R.R., Selvanayagam M. Effect of Azospirillum spp. and Azotobacter spp. on the growth and yield of strawberry (*Fragaria vesca*) in hydroponic system under different nitrogen levels. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2016;6(01):48–54. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.600108>
16. Yu W., Zheng J., Wang Y., Ji F., Zhu B. Adjusting the nutrient solution formula based on growth stages to promote the yield and quality of strawberry in greenhouse. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2023;(16):57–64. <https://doi.org/10.25165/ij.20231602.7797>
17. Aguilheiro-Santos A.C. Quality of Strawberry 'Camarosa' with Different Levels of Nitrogen Fertilization. *Acta Horticulturae*. 2009. P.907–910. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.842.200>
18. Costamagna G., Chiabrando V., Fassone E., Mania I., Gorra R., Ginepro M., & Giacalone G. Characterization and use of absorbent materials as slow-release fertilizers for growing strawberry: Preliminary results. *Sustainability*. 2020;12(17):6854–6867. <https://doi.org/10.3390/su12176854>.
19. Cvelbar W.N., Koron D., Jakopič J., Veberič R., Hudina M., Cesnik B.H. Influence of Nitrogen, Calcium and Nano-Fertilizer on Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Fruit Inner and Outer Quality. *Agronomy*. 2021;(11):997. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050997>
20. Иванова Т.Е., Лекомцева Е.В., Соколова Е.В., Тутова Т.Н., Несмелова Л.А. Влияние микроудобрений на урожайность и качество земляники садовой. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022;8(214):24–31. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-24-31> <https://elibrary.ru/oyojkz> [Ivanova T.E., Lekomceva E.V., Sokolova E.V., Tutova T.N., Nesmelova L.A. Impact of microbiological fertilizers on the yield and quality of garden strawberry. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;8(214):24–31. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-24-31> <https://elibrary.ru/oyojkz>] (In Russ.)
21. Cárdenas-Navarro R., Ruiz-Corro R., López-Pérez L., Castellanos-Morales V. del C., Bravo-Hernández N.L., España-Boquera M.L., Villegas-Moreno J.A. Effect of nitrogen and *Rhizopagus irregularis* inoculation on strawberry plants. *Wulfenia*. 2024;24(10):234–246.
22. Yang X., Du R., He D., Li D., Chen J., Han X., Wang Z., Zhang Z. Optimal combination of potassium coupled with water and nitrogen for strawberry quality based on consumer-orientation. *Agricultural Water Management*. 2023;(287):108461. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108461>.
23. Abobatta W.F., Abd Alla M.A. Role of Phosphates Fertilizers in Sustain Horticulture Production: Growth and Productivity of Vegetable Crops. *Asian Journal of Agricultural Research*. 2023;17(1):1–7. <https://doi.org/10.3923/ajar.2023.1.7>.
24. Nestby R., Lieten F., Pivot D., Raynal Lacroix C., Tagliavini M. and Evenhuis B. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs. *Acta Hort*. 2004;(649):201–206.
25. Taiz L and Zeiger E. Mineral nutrition. In: Plant Physiology. Third ed. Sinauer Associates Inc. Massachusetts. USA. 2002. P. 67–86.
26. Hindersah R., Purba P.S.J., Cahyaningrum D.N., Nurbaita A., Kamaluddin N.N., & Akutsu M. Evaluation of strawberry seedling growth in various planting media amended with biofertilizer. *KnE Life Sciences*. 2022. P. 358–367. <https://dx.doi.org/10.18502/kl.v7i3.11144>
27. Abobatta F., Abd Alla M.A. Role of phosphates fertilizers in sustain horticulture production: Growth and productivity of vegetable crops. *Asian Journal of Agricultural Research*. 2023;17(1):1–7. <https://doi.org/10.3923/ajar.2023.1.7>
28. Cao F., Guan Ch., Dai H., Li X., Zhang Zh. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. *Scientia Horticulturae*. 2015;(195):183–187.
29. Moor U., Pöldma P., Tõnutare T., Karp K., Starast M., Vool E. Effect of phosphate fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Scientia Horticulturae*. 2009;119(3):264–269.
30. Ahmad H., Sajid M., Ullah R., Hayat S. and Shahab M. Dose Optimization of Potassium (K) for Yield and Quality Increment of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) Chandler. *American Journal of Experimental Agriculture*. 2014;4(12):1526-1535.
31. Schwarz K., Vilela-Resende J.T., Pierozan-Junior C., Tauffer-de-Paula J., Baier J.E., de Souza-Silva M.L., Brendler-Oliveira F. Yield and nutrition of greenhouse-grown strawberries (*Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier. cv. Camarosa) as affected by potassium fertilization. *Acta Agron*. 2018;(67):114–119. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.59553>
32. Szczerbab M.W., Brittoa D.T., Kronzuckera H.J. K<sup>+</sup> transport in plants: Physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology*. 2009;166(5):447–466. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.12.009>
33. Preciado-Rangel P., Troyo-Diéguez E., Valdez-Aguilar L.A., García-Hernández J.L. and Luna-Ortega J.G. Interactive Effects of the Potassium and Nitrogen relationship on Yield and Quality of Strawberry grown under Soilless Conditions. *Plants*. 2020;9(4):441. <https://doi.org/10.3390/plants9040441>
34. Yi W., Wei-Hua W. Potassium transport and signaling in higher plants. *Potassium Transport and Signaling in Higher Plants*. 2013;(64):51–76. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120153>
35. Khayyat M., Tafazoli E., Eshghi S., Rahemi M., Rajaei S. Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci*. 2007;(2):539–544. [https://www.idosi.org/aejaes/jaes2\(5\)/13](https://www.idosi.org/aejaes/jaes2(5)/13)
36. Gomes E.R., Broetto F., Queluz J. G. T., Bressan D.F. Effect of potassium fertigation on soil and strawberry yield. *Irriga, Botucatu, Edição Especial*. 2015. 20 anos Irriga + 50 anos FCA. P. 107–122.
37. Nakro A., Bamouh A., Bouslama H., San Bautista A., Ghaouti L. The Effect of Potassium-Nitrogen Balance on the Yield and Quality of Strawberries Grown under Soilless Conditions. *Horticulturae*. 2023;(9):304. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030304>
38. Cakmak I., Yazici A.M. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*. 2010;94(2):23–25.
39. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 524 с. [Aristarhov A.N. Optimization of plant nutrition and fertilizer application in agroecosystems. M.: CINAО, 2000. 524 p.] (In Russ.)
40. Cakmak I., Kirkby E.A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant*. 2008;(133):692–704.
41. Romheld V., Kirkby E.A. Magnesium function in crop nutrition and yield. *Proceedings of a Conference in Cambridge (7th Dec. 2007)*. 2007. P. 151–171.
42. Khalil N.H., Hammoodi Effect of nitrogen, potassium and calcium in strawberry fruit quality. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2020;16(1):1967–1972. <https://connectjournals.com/03899.2020.16.1967>

43. Lateef M.A., Noori A.M., Saleh Yu.M. and Al-Taey D.K.A. The effect of foliar spraying with salicylic acid and calcium chloride on the growth, yield, and storage traits of two strawberry cultivars, *Fragaria × ananassa* Duch. *Int. J. Agric. Stat. Sci.* 2021;17(2):611–615. <https://connectjournals.com/03899.2021.17.611>.
44. Bieniasz M., Malodobry M., Dziedzic E. The effect of foliar fertilization with calcium on quality of strawberry cultivars 'Luna' and 'Zanta'. *Acta Horticulturae*. 2012;926(926)?457–461. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.926.64>.
45. Sidhu R.S., Singh N.P., Singh S. and Sharda R. Foliar Nutrition with Calcium Nitrate in Strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.): Effect on Fruit Quality and Yield. *Indian Journal of Ecology*. 2020;47(1):87–91.
46. Ruchitha T., Shivakumar B.S., Madaiah D., Ganapathi M., Chaitanya H.S. Influence of foliar nutrients and plant growth regulators on growth and yield of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) under naturally ventilated polyhouse. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(4):720–723.
47. Pandeya S., Shrestha A.K. Effect of pre-harvest spray of calcium on post-harvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Winter dawn in Chitwan, Nepal. *Malaysian Journal of Halal Research (MJHR)*. 2023;6(1):25–31. <https://doi.org/10.26480/mjhr.01.2023.25.31>
48. Zhang X., Zhang D., Sun W., Wang T. The adaptive mechanism of plants to iron deficiency via iron uptake, transport, and homeostasis. *Int. J. Mol. Sci.* 2019;(20):2424. <https://doi.org/10.3390/ijms20102424>
49. Zhao L., Wang Yu., Kong Sh. Effects of *Trichoderma asperellum* and its siderophores on endogenous auxin in *Arabidopsis thaliana* under iron-deficiency stress. *International Microbiology*. 2020;(23):501–509. <https://doi.org/10.1007/s10123-020-00122-4>
50. Puglisi I., Brida S., Stoleru V., Torino V., Sellitto V.M., Baglieri A. Application of novel microorganism-based formulations as alternative to the use of iron chelates in strawberry cultivation. *Agriculture*. 2021;(11):217. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030217>
51. Duralijaa B., Mikec D., Jurić S., Lazarević B., Maslov Bandić L., Vlahoviček-Kahlina K., Vinceković M. Strawberry fruit quality with the increased iron application. *SHS Acta Horticulturae. IX International Strawberry Symposium*. 2021. P. 1309. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.146>
52. Saini S., Kumar P., Sharma N.C., Sharma N., Balachandar D. Nano-enabled Zn fertilization against conventional Zn analogues in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*. 2021;(282):110016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110016>
53. Carlesso L.C., Luz G.L.D., Lajus C.R., Silva L.L., Fiori M., Rossoni C., Fernandes S.C., Riella H. Physical-chemical properties of strawberry pseudo fruits submitted to applications of zinc oxide nanoparticles. *Int. J. Adv. Res. Technol.* 2018;(5):262–272. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.7.34>
54. Elahshah A.A., Moradi H., Sadeghi H. Boron and zinc foliar application enhanced the morphophysiological responses and mineral absorption in the hydroponically grown 'Aromas' strawberry. *Journal of Plant Nutrition*. 2023;46(11):1–12. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2206428>
55. Rossiac L., Fedenia N., Sharifana H., Ma X., Lombardini L. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;(135):160–166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>
56. Park Y.G., Muneer S., Kim S., Hwang S.J., and Jeong B.R. Silicon application during vegetative propagation affects photosynthetic protein expression in strawberry. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2018;(59):167–177. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0022-2>
57. Pavlovic J., Kostic L., Bosnic P., Kirkby E.A., and Nikolic M. Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. *Front. Plant Sci.* 2021;(12):1224. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592>
58. Moradatab N., Hajiboland R., Aliasgharzarad N., Hartmann T.E., and Neumann G. Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. *Agronomy*. 2019;(9):41. <https://doi.org/10.3390/agronomy9010041>
59. Sattar A., Cheema M.A., Sher A., Ijaz M., Wasaya A., Yasir T.A. Foliar applied silicon improves water relations, stay green and enzymatic antioxidants activity in late sown wheat. *Silicon*. 2020;(12):223–230. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00115-7>
60. Kowalska J., Tyburski J., Jakubowska M., and Krzyminska J. Effect of different forms of silicon on growth of spring wheat cultivated in organic farming system. *Silicon*. 2021;(13):211–217. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00414-4>
61. Xiao J., Li Ya., Jeong B.R. Foliar Silicon Spray to Strawberry Plants During Summer Cutting Propagation Enhances Resistance of Transplants to High Temperature Stresses. *Front. Sustain. Food Syst., 27 June Sec. Crop Biology and Sustainability*. 2022;(6). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.938128>
62. Javier F.P.-F., Gil Ya.B., Apaolaza L.H. Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020;(152):23–31. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>
63. Li L., Wei X., Mei-ling J., Chao Y., Ling L., Dong-sheng G., Xi-ling F. Effects of molybdenum on nutrition, quality, and flavour compounds of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(7):1502–1512. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61518-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61518-6)

**Об авторах:**

**Людмила Александровна Марченко** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>, Scopus ID: 57193568421;

автор для переписки, l.marchenko@rgau-msha.ru

**Светлана Владимировна Акимова** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; akimova@rgau-msha.ru

**Александр Валерьевич Соловьев** – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 8245-2748, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9767>, Scopus ID: 57204731886; a.solovev@rgau-msha.ru

**Сергей Сергеевич Макаров** – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства Института Садоводства и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>, Scopus ID: 57223029793; SPIN-код: 9173-6049, s.makarov@rgau-msha.ru

**Егор Григорьевич Самощенко** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 6322-9264, <https://orcid.org/0000-0003-1554-1670>, Scopus ID: 57303420300; samoshenkov@rgau-msha.ru

**Георг Эдвардович Тер-Петросянц** – ассистент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия, SPIN-код: 8016-5049, <https://orcid.org/0000-0002-0087-3886>, Scopus ID: 57303431300; ter-petrosyanc@rgau-msha.ru

**Александр Валерьевич Зубков** – кандидат экономических наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия Института Садоводства и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>, Scopus ID: 57946823000; SPIN-код: 7829-0105, a.zubkov@rgau-msha.ru

**About the Authors:**

**Liudmila A. Marchenko** – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>, Scopus ID: 57193568421; Correspondence Author, l.marchenko@rgau-msha.ru

**Svetlana V. Akimova** – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; akimova@rgau-msha.ru

**Alexandr V. Solovoyv** – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8245-2748, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9767>, Scopus ID: 57204731886; a.solovev@rgau-msha.ru

**Sergey S. Makarov** – Dr. Sci. (Agriculture), Head of the of the Department of Ornamental Horticulture Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>, Scopus ID: 57223029793; SPIN-code: 9173-6049, s.makarov@rgau-msha.ru

**Egor G. Samoshenkov** – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 6322-9264, <https://orcid.org/0000-0003-1554-1670>, Scopus ID: 57303420300; samoshenkov@rgau-msha.ru

**Georg E. Ter-Petrosyants** – assistant of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8016-5049, <https://orcid.org/0000-0002-0087-3886>, Scopus ID: 57303431300; ter-petrosyanc@rgau-msha.ru

**Alexandr V. Zubkov** – Cand. Sci. (Economics), Associate Professor of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>, Scopus ID: 57946823000; SPIN-code: 7829-0105, a.zubkov@rgau-msha.ru