

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCEDOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645
УДК 631.8:633.72(470.62+262.5)

EDN: LEDGBH



Научная статья

СОДЕРЖАНИЕ МАРГАНЦА
В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ (CAMELLIA SINENSIS (L.)
O. KUNTZE) СОРТА КОЛХИДА НА ФОНЕ
ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ
УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*А.В. Великий***Аннотация**

Обоснование. Элементный состав чая определяет не только его пищевкусовые свойства, но и является источником основных элементов, необходимых для нормального функционирования нашего организма, так как в современном мире мы часто сталкиваемся с дефицитом важных элементов в результате несбалансированного питания.

Особое место в чае занимают микроэлементы, к которым относятся железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn). Чайные растения накапливают большие количества Mn в листьях, что может являться важным источником этого микроэлемента в пищевом рационе человека. Однако необходимо отметить, что чрезмерное потребление чая может привести к избыточному поступлению марганца в организм.

Впервые в субтропической зоне России были изучены вопросы взаимодействия марганца и корневого применения ряда важнейших микроэлементов

(Mg, Ca, S, Zn, B), были выявлены закономерности их влияния на содержание марганца в листьях чайного растения, также дана оценка влияния метеорологических факторов на накопление марганца.

Цель исследования. Определение закономерностей поступления соединений марганца из почвы и его накопление в листьях растений чая на фоне разного минерального питания, с точки зрения пищевой безопасности сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы. Исследования были проведены в зоне Черноморского побережья Краснодарского края на чайной плантации сорта Колхида. Опыт включает 7 вариантов: контрольный и 6 вариантов с микроэлементами.

По вариантам опыта проводили отборы зрелых листьев и ювенильных побегов (3-листная флеш) в течение вегетации в период 2012–2023 гг. Пробо-подготовку листьев осуществляли ускоренным методом кислотного (мокрого) озоления по К.Е. Гинзбург и др. (1963).

Результаты. Установлено, что в зрелых листьях минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг, и была выявлена прямая связь содержания марганца с суммой осадков $r=0,42$. Уровень марганца в 3-листной флеш колебался от 476 в первую волну роста до 1246 мг/кг в конце периода сбора флешей, и была установлена прямая корреляционная связь содержания марганца со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$.

Выявлено, что применение бора, несмотря на повышение урожайности, привело к снижению содержания марганца в ювенильных побегах на 11,7–16,7 % в июле-августе и на 23,6 % в сентябре по сравнению с контрольной группой.

Заключение. Полученные результаты показывают сложную взаимосвязь между содержанием марганца, климатическими условиями и применением удобрений.

Ключевые слова: чай; тяжелые металлы; концентрация марганца; влияние удобрений; зрелый лист; ювенильный побег; сезонная и годовая динамики; корреляционная связь

Для цитирования. Великий, А. В. (2025). Содержание марганца в листьях чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) сорта Колхида на фоне применения различных видов удобрений в условиях субтропиков Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 366–382. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645>

Original article

MANGANESE CONTENT IN TEA LEAVES (CAMELLIA SINENSIS (L.) O. KUNTZE) OF THE COLCHIS VARIETY AGAINST THE BACKGROUND OF THE USE OF VARIOUS TYPES OF FERTILIZERS IN THE SUBTROPICAL CONDITIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Velikii

Abstract

Background. The elemental composition of tea determines not only its food-flavoring properties, but is also a source of essential elements necessary for the normal functioning of our body, as in the modern world we often face a shortage of important elements as a result of an unbalanced diet.

A special place in tea is occupied by trace elements, which include iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn). Tea plants accumulate large amounts of Mn in their leaves, which may be an important source of this trace element in the human diet. However, it should be noted that excessive consumption of tea can lead to excessive intake of manganese into the body.

For the first time in the subtropical zone of Russia, the interaction of manganese and the root application of a number of important trace elements (Mg, Ca, S, Zn, B) were studied, patterns of their influence on the manganese content in the leaves of the tea plant were identified, and the influence of meteorological factors on the accumulation of manganese was assessed.

Purpose. To determine the patterns of the intake of manganese compounds from the soil and its accumulation in the leaves of tea plants against the background of different mineral nutrition, from the point of view of food safety of agricultural products.

Materials and methods. The research was conducted in the area of the Black Sea coast of the Krasnodar Territory on a Colchis tea plantation. The experience includes 7 options: control and 6 options with trace elements. According to the experimental variants, mature leaves and juvenile shoots (3-leaf flush) were selected during the growing season in the period 2012-2023. The sample preparation of the leaves was carried out by the accelerated method of acid (wet) ozonization according to K.E. Ginzburg et al. (1963).

Results. It was found that the minimum manganese content in mature leaves was 1290 mg/kg, and the maximum was 3705 mg/kg, and a direct relationship was found between the manganese content and precipitation $r=0.42$. The manganese level in the 3-leaf flask ranged from 476 mg/kg in the first growth wave to 1246 mg/kg at the end of the flask collection period, and a direct correlation was established between the manganese content and the monthly average temperature $r=0.56$. It was revealed that the use of boron, despite the increase in yield, led to a decrease in the manganese content in juvenile shoots by 11.7–16.7% in July-August and by 23.6% in September compared with the control group.

Conclusion. The results show a complex relationship between manganese content, climatic conditions, and fertilizer application.

Keywords: tea; heavy metals; copper concentration; fertilizer effect; Mature leaf; juvenile shoot; seasonal and annual dynamics

For citation. Velikii, A. V. (2025). Manganese content in tea leaves (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) of the Colchis variety against the background of the use of various types of fertilizers in the subtropical conditions of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 366-382. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645>

Введение

Чай, это ароматный напиток, завоевавший сердца миллионов людей по всему миру. Его богатый вкус, аромат и безопасность – результат сложного взаимодействия сотен компонентов, содержащихся в листьях чайного растения [21], наличие которых также зависит от множества факторов: географических [8; 10] и сезонных изменений [2; 11], генетических вариаций [13, 15], обработки во время производства [6], а также от элементного состава [2; 4; 7].

Чай является богатым источником антиоксидантов, защищающих наш организм от свободных радикалов и способствующих общему оздоровлению. В чайном напитке содержится большое количество основных элементов, таких как магний (Mg), фосфор (P), сера (S), калий (K), кальций (Ca), марганец (Mn), железо (Fe) и цинк (Zn) [12]. Питательные вещества необходимы растениям для роста и развития, метаболических процессов, повышения урожайности, устойчивости к стрессам и профилактики заболеваний и т. д. [2; 5; 16]. Наличие их в чае делает его ценным продуктом питания, так как в современном мире мы часто сталкиваемся с дефицитом этих важных элементов в результате несбалансированного питания, и обработки продуктов в процессе их приготовления [9; 18], а они необходимы для нормального функционирования нашего организма. Однако из-за

загрязнения окружающей среды чай может содержать помимо полезных веществ, ещё и целый ряд токсичных, таких как свинец, кадмий, ртуть и другие тяжелые металлы, которые, несмотря на их важность для роста и развития растения, могут представлять потенциальную опасность для человека при чрезмерном употреблении, что делает актуальными вопросы безопасности пищевых продуктов, чтобы гарантировать, что максимально допустимые их количества в рационе не будут превышены [14; 23].

Изучение состава чая продолжается для понимания взаимосвязи между химическими компонентами и его вкусовыми качествами. Среди множества питательных элементов, необходимых для полноценного развития, особое место занимают микроэлементы, к которым относятся железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn) [2; 4]. При этом избыток, как и недостаток элементов питания, может быть губителен для растений, вызывая токсические реакции и нарушая нормальное функционирование организмов [2; 4].

Марганец, являясь одним из ключевых микроэлементов, необходим для нормального развития большинства растений. Марганец является кофактором для ферментов нитритредуктазы и гидроксиламинредуктазы, которые играют ключевую роль в превращении нитратов в аммиак - необходимый строительный блок для белков и других азотсодержащих соединений, а также требуется для производства ароматических аминокислот и вторичных метаболитов, таких как лигнин и флавоноиды [22].

По отношению к накоплению марганца существуют растения, способные аккумулировать значительные количества в своих тканях, не проявляя признаков токсичности. Такие растения могут накапливать более 1000 мг марганца на 1 кг сухого веса в надземных частях [20]. Одним из примеров гипераккумуляторов марганца являются чайные растения (*Camellia sinensis*), поэтому чайные растения накапливают большие количества Mn в своих надземных тканях, особенно в листьях [17]. Благодаря своей способности накапливать большие количества марганца, чай является важным источником этого микроэлемента в пищевом рационе человека. Однако необходимо отмечать, что чрезмерное потребление чая может привести к избыточному поступлению марганца в организм.

Исследования марганца на черноморском побережье России были начаты в 2000-е годы. Было установлено его содержание в почвах чайных плантаций и растениях чая, определены ориентировочные градации обеспеченности почв подвижным марганцем и размер его ежегодного выноса с урожаем [2; 4]. При этом вопросы взаимодействия марганца с рядом важнейших микроэлементов (Mg, Ca, S, Zn, B), которые вносятся в почву в качестве удобрений, не

были охвачены исследованиями. В этой связи актуально изучение корневого внесения этих элементов в почву и выявление закономерностей их влияния на содержание марганца в листьях чайного растения. Это будет способствовать внедрению новых эффективных видов и форм удобрений в практику чаеводства, которая позволит в дальнейшем разработать химическую формулу многокомпонентного вида удобрений для чайного растения, определяющие стабильность урожаев, качество и безопасность получаемой продукции.

Целью исследования было определение закономерностей поступления соединений марганца из почвы и его накопление в листьях растений чая на фоне разного минерального питания, с точки зрения пищевой безопасности сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методики исследования

Исследования были проведены в зоне Черноморского побережья Краснодарского края на многолетнем опытном участке производственной чайной плантации сорта Колхида (пос. Уч-Дере, Сочи, Краснодарский край, 43,69° с. ш., 39,64° в. д.), 1983 года закладки, включенном в географическую сеть опытов с удобрениями. Климат региона - влажный субтропический со среднегодовой температурой в пределах 12,8-16,5 °С, годовое количество осадков 1313–2098 мм. Опыт проводится на бурых лесных кислых окультуренных почвах согласно классификации и диагностики почв СССР [3]. В соответствии с WRB почвы классифицировались как Cambicols [19]. Исходно почвы характеризовались высоким содержанием валового марганца от 1757 до 1884 мг/кг [4].

Изучение микроэлементов в рамках действующего опыта было начато в 2003 году. Схема опыта, дозы, периоды внесения удобрений, а также периоды последствий представлены в таблице 1. Опыт включает 7 вариантов: контрольный и 6 вариантов с микроэлементами, которые вносились в почву в виде чистых солей. Вариант смесь – это совместное внесение сульфата цинка, сульфата магния и борной кислоты, в дозах каждого из вариантов.

Исследования проводились на выровненном агрофоне, содержание подвижных форм фосфора и калия согласно грациям обеспеченности почв находилось на высоком уровне. Опытные делянки площадью 10 м² представлены в трёхкратной повторности для каждого варианта. Ежегодное внесение микроудобрений выполнялось на фоне внесения оптимальных для растений чая доз макроудобрений N240P70K90 в весенний период (апрель). С 2022 г. на всех вариантах изучается эффект последствий от вносимых ранее микроэлементов.

Таблица 1.

**Схема опыта по изучению эффективности микроэлементов
на чайной плантации**

Вариант	Вид удобрения	Доза	Период внесения
Контроль	NPK	N240P70K90	2003-2024
Mg	сульфат магния	60	2003-2015
S	кристаллическая сера	1000	2003-2015
Zn	сульфат цинка	4,3	2003-2016
B	борная кислота	6	2003-2021
Ca	кальцийсодержащее природное вещество	100	2003-2015
совместное внесение	Zn+B+Mg	4,3+6+60	2003-2022

По вариантам опыта проводили отборы зрелых листьев и ювенильных побегов (3-лиственная флеш) в течение вегетации в период 2012–2023 гг. Содержание марганца определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ – АФА (Россия). [1], пробоподготовка образцов к исследованию проводилось методом кислотного (мокрого) озоления [1]. Данные обрабатывали с помощью описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0,95$).

Результаты исследования и обсуждение

По нашим данным содержание марганца в зрелом листе сильно варьирует как в годовой динамике, так и в сезонной, что объясняется различием метеорологических условий, применяемых удобрений, а также возрастом самого листа (рис. 1). В годовой динамике минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг, что в 2,87 раз выше минимального значения (рис. 1).

В сезонной динамике минимальные значения марганца отмечены в листьях трёхмесячного возраста в июле, а максимальные для вариантов контроль, магний, бор отмечены в конце периода листосбора в сентябре, в марте месяце на этих вариантах отмечено снижение содержания марганца в листьях на 5–17 %. Для вариантов сера и кальций максимальные значения марганца отмечены в марте месяце. Для варианта цинк и варианта с совместным применением цинка, бора и магний максимальные значения марганца установлены в сентябре месяце, и такой высокий уровень его содержания отмечен и в десятимесячном листе в марте (рис. 1).

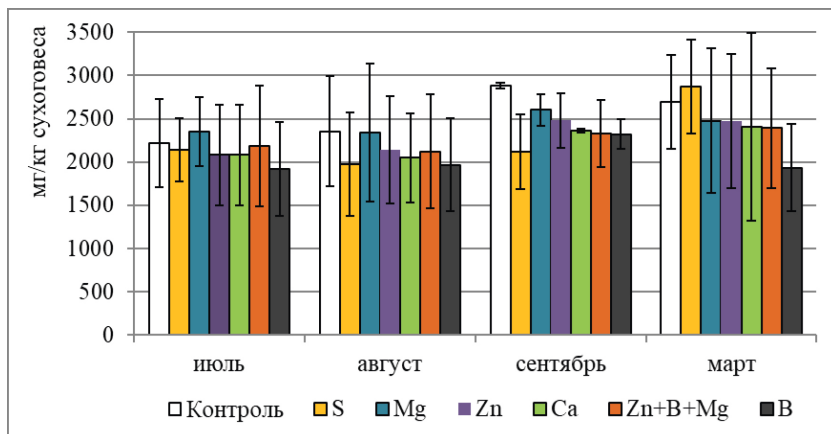


Рис. 1. Среднее содержание марганца (Mn) в зрелых листьях чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2024 гг.)

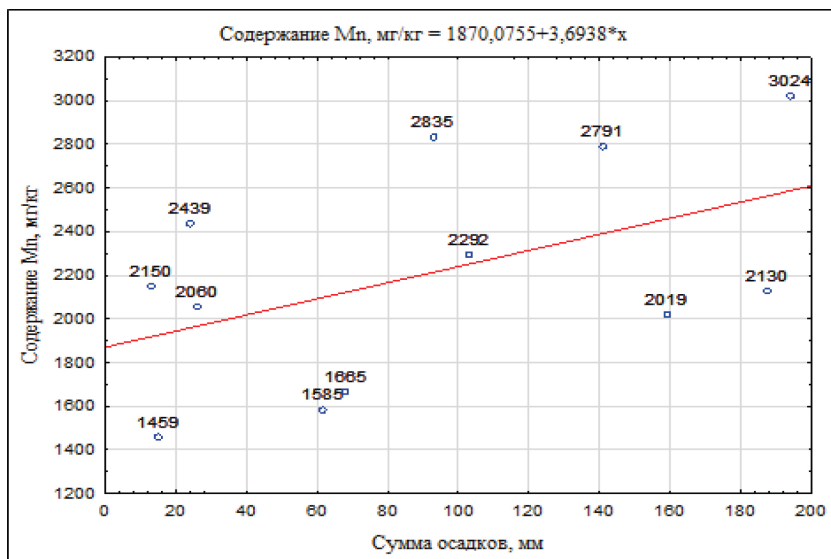


Рис. 2. Содержание марганца (усредненные данные) в листьях чая в зависимости от метеорологических условий в 2012–2024 гг.

Специфика поглощения марганца корнями растений чая зависит от метеорологических условий, поэтому в динамике многолетних исследований

были выявлены существенные колебания концентрации марганца в зрелых листьях. Корреляционный анализ показал прямую связь содержания марганца в зрелых листьях с суммой осадков $r=0,42$, и обратную связь со среднемесячными показателями температуры $r=-0,20$, которая является низкой и малодостоверной. На представленном графике показан рост уровня марганца в зрелом листе в зависимости от выпавшей суммы осадков (рис. 2). Так увеличение количества осадков с 0 до 200 мм в месяц в среднем повышало содержание марганца в зрелых листьях в 1,33 раза (рис. 2).

Качество и безопасность чая напрямую зависят от химического состава его 3-листной флешки. Согласно исследованиям, концентрация марганца в 3-листной флешки чайного растения может значительно варьироваться в зависимости от времени сбора урожая и применяемых удобрений. Уровень марганца колебался от 476 до 1246 мг/кг (рис. 3). Также установлена четкая сезонная динамика содержания этого элемента: минимальные значения были зафиксированы в мае, а максимальные – в период с июля по август для низкоурожайных вариантов (контроль, удобрения с магнием и серой), и в сентябре для высокоурожайных вариантов (удобрения с цинком, кальцием, а также при совместном внесении цинка, бора и магния) (рис. 3).

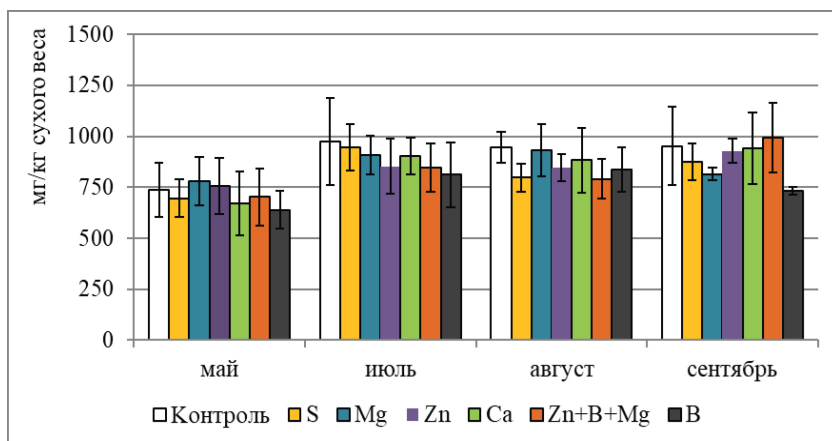


Рис. 3. Среднее содержание марганца (Mn) в 3-листных флешках чая по периодам вегетации, мг/кг (2013–2024 гг.)

Вариант с применением бора ежегодно давал максимальную урожайность, которая в свою очередь приводила к снижению концентрации

марганца в молодых побегах. В июле-августе это снижение составляло 11,7–16,7 %, а в сентябре – 23,6 % по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3), что обусловлено повышенной побегообразовательной активностью на данном варианте из-за чего происходило перераспределение поступающих веществ, приводящее к снижению их содержания.

Корреляционный анализ показал прямую связь содержания магния в 3-листной флешки со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$, и прямую связь с суммой осадков $r=0,13$, которая является низкой и мало-достоверной. На представленном графике показано, что повышение средне-месячной температуры с 16–20 °С до 22–26 °С в среднем увеличивало содержание марганца в 1,16 раз или на 16 % (рис. 4).

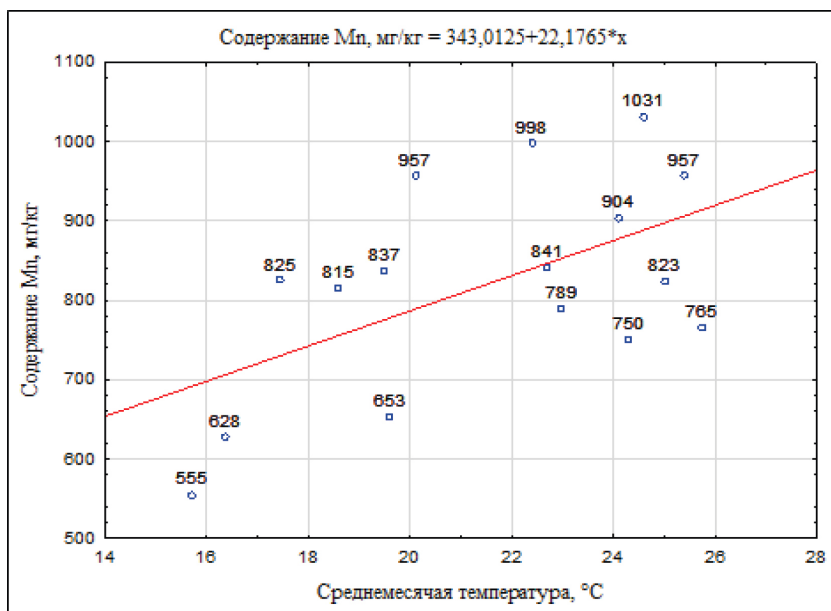


Рис. 4. Содержание марганца (усредненные данные) в 3-листной флешки чая в различные годы (2012–2024) в зависимости от метеорологических условий

Исследования показали существенную разницу содержания марганца в зрелых листьях и 3-листной флешки чайного растения в 1,8–2,5 раза (рис. 5). Высокая скорость роста молодых побегов (7–10 дней) лишь проводят к выносу марганца во время сбора урожая, в то время как накопление его в зрелых листьях, скорее всего, связано с его участием в процессе фотосинтеза.

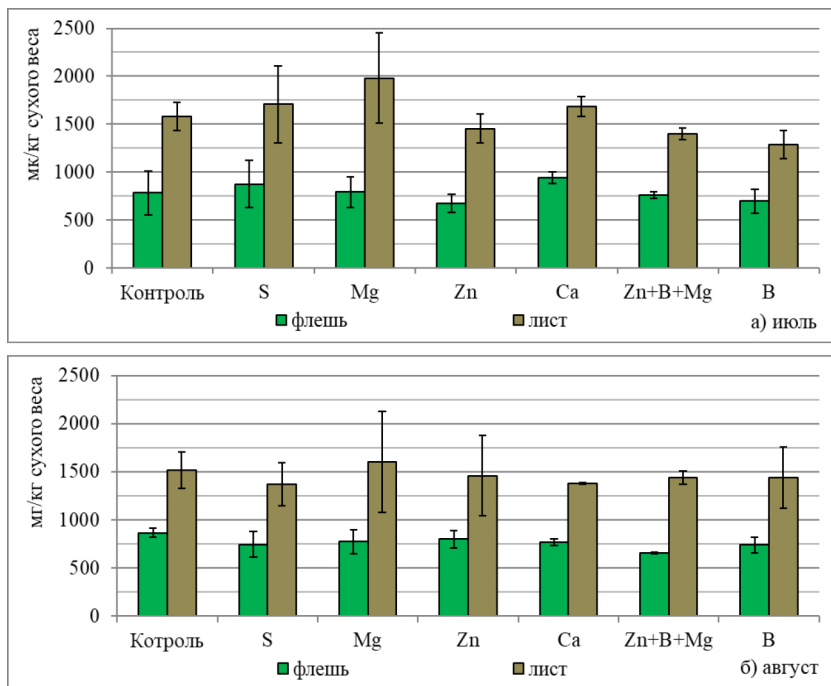


Рис. 5. Содержание марганца в листьях чая по вариантам опыта в различные листосборные периоды (волны роста)

Заключение

Полученные результаты показывают сложную взаимосвязь между содержанием марганца, климатическими условиями и применением удобрений. В годовой динамике в зрелых листьях минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг. В сезонной динамике минимальные значения марганца отмечены в листьях трёхмесячного возраста в июле, для максимальных значений не было выявлено одного четко выраженного месяца. Корреляционный анализ показал прямую связь содержания марганца в зрелых листьях с суммой осадков $r=0,42$. Было выявлено, что увеличение количества осадков с 0 до 200 в месяц в среднем повышало содержание марганца в зрелых листьях в 1,33 раза. Уровень марганца в 3-листной флеше колебался от 476 в первую волну роста до 1246 мг/кг в конце периода сбора флешей. Выявлено, что применение бора, несмотря на повышение урожайности, привело к снижению

содержания марганца в ювенильных побегах на 11,7–16,7 % в июле-августе и на 23,6 % в сентябре по сравнению с контрольной группой, что обусловлено повышенной побегообразовательной активностью на данном варианте. Установлена прямая корреляционная связь содержания магния в 3-листной флешки со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$, повышение среднемесячной температуры с 16–20 °С до 22–26 °С в среднем увеличивало содержание марганца в 1,16 раз или на 16 %. Выявлена существенная разница содержания марганца в зрелых листьях и 3-листной флешки чайного растения в 1,8–2,5 раза.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2024-0001, № государственной регистрации 124022000098-6.

Список литературы

1. *Агрохимические методы исследования почв* / отв. ред. А. В. Соколов. (1975). Москва: Наука. 759 с.
2. Белоус, О. Г. (2006). *Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России*. Краснодар: КГАУ. 164 с. EDN: <https://elibrary.ru/VUFXWN>
3. *Классификация и диагностика почв СССР* / авт.-сост. В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. И. Иванова и др. (1977). Москва: Колос. 223 с.
4. Малоюкова, Л. С. (2011). *Микроэлементы в системе почва — чайное растение в условиях субтропиков России*. Сочи. 114 с. ISBN: 978-5-904533-13-7. EDN: <https://elibrary.ru/UIDFDZ>
5. Малоюкова, Л. С., Притула, З. В., Козлова, Н. В., Керимзаде, В. В., & Великий, А. В. (2016). О формировании устойчивости у растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при недостаточном водообеспечении на фоне корневого внесения кальция в виде природного удобрения. *Сельскохозяйственная биология*, 51(5), 673–679. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.673eng>. EDN: <https://elibrary.ru/WZJQIT>
6. Малоюкова, Л. С., Цюпко, Т. Г., Притула, З. В., Воронова, О. Б., Гушаева, К. С., & Великий, А. В. (2018). Состав и содержание флавоноидов в готовом чае, выращенном в условиях Черноморского побережья Краснодарского края. В *Сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума «Фенольные соединения: функциональная роль в растениях»* (№ 3, с. 272–277). Москва: PRESS-BOOK.RU. EDN: <https://elibrary.ru/UVZCRL>

7. Рындин, А. В., Малюкова, Л. С., Цюпко, Т. Г., Воронова, О. Б., & Гушаева, К. С. (2018). Особенности элементного состава Краснодарского чая сорта Колхида. *Новые технологии*, (4), 224–229. EDN: <https://elibrary.ru/YXRFSX>
8. Borse, B. B., Rao, L. J., Nagalakshmi, S., & Krishnamurthy, N. (2002). Fingerprint of black teas from India: Identification of the regio-specific characteristics. *Food Chemistry*, 79, 419–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00191-7)
9. Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
10. Diniz, P. H., Pistonesi, M. F., Alvarez, M. B., Band, B. F., & Araujo, M. C. (2015). Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA). *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.012>
11. Ercisli, S., Orhan, E., Ozlem, S., Sengul, M., Gungor, N., & Orhan, E. (2008). Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* clone Derepazari 7) grown in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 46, 10–11.
12. Malik, J., Szakova, J., Drabek, O., Balik, J., & Kokoska, L. (2008). Determination of certain micro and macroelements in plant stimulants and their infusions. *Food Chemistry*, 111(2), 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.009>
13. Pang, Y., Abeyasinghe, I. S., He, J., He, X., Huhman, D., Mewan, K. M., Sumner, L. W., Yun, J., & Dixon, R. A. (2013). Functional characterization of proanthocyanidin pathway enzymes from tea and their application for metabolic engineering. *Plant Physiology*, 161(3), 1103–1116. <https://doi.org/10.1104/pp.112.212050>. EDN: <https://elibrary.ru/XZJXUM>
14. Peng, J., Aved, A., Seetharaman, G., & Palaniappan, K. (2017). Multi-view boosting with information propagation for classification. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2016.2637881>
15. Samarina, L., Malyukova, L., Wang, S., Li, Y., Doroshkov, A., Bobrovskikh, A., et al. (2024). Nitrogen deficiency differentially affects lignin biosynthesis genes and flavanols accumulation in tolerant and susceptible tea genotypes (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *Plant Stress*, 14, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100581>. EDN: <https://elibrary.ru/TRQWKD>
16. Shahzad, Z., & Amtmann, A. (2017). Food for thought: How nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.008>

17. Tseng, W., & Lai, H. (2022). Comprehensive analysis revealed the specific soil properties and foliar elements respond to the quality composition levels of tea (*Camellia sinensis* L.). *Agronomy*, 12(3), 670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030670>. EDN: <https://elibrary.ru/WBOVIO>
18. White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine. *New Phytologist*, 182, 49–84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738>. EDN: <https://elibrary.ru/YCCVMX>
19. Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports – FAO, (106)*. Rome. 181 c.
20. Xue, S. G., Chen, Y. X., Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Lin, Q., & Fernando, D. R. (2004). Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae). *Environmental Pollution*, 131(3), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.011>
21. Yashin, A. Y., Nemzer, B. V., Combet, E., & Yashin, Y. I. (2015). Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: A review. *Journal of Food Research*, 4(3), 56–88. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n3p56>
22. Zaman, F., Zhang, E., Ihtisham, M., Ilyas, M., et al. (2023). Metabolic profiling, pigment component responses to foliar application of Fe, Zn, Cu, and Mn for tea plants (*Camellia sinensis*). *Scientia Horticulturae*, 319, 1. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112149>. EDN: <https://elibrary.ru/LOWPMV>
23. Zhang, L., Zhang, J., Chen, L., Liu, T., Ma, G., & Liu, X. (2018). Influence of manufacturing process on the contents of iron, copper, chromium, nickel and manganese elements in Crush, Tear and Curl black tea, their transfer rates and health risk assessment. *Food Control*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.030>

References

1. *Agrochemical methods of soil research* / ed. by A. V. Sokolov. (1975). Moscow: Nauka. 759 p.
2. Belous, O. G. (2006). *Microelements in tea plantations of the subtropics of Russia*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 164 p. EDN: <https://elibrary.ru/VUFXWN>
3. *Classification and diagnosis of soils of the USSR* / comp. by V. V. Egorov, V. M. Fridland, E. I. Ivanova et al. (1977). Moscow: Kolos. 223 p.
4. Malyukova, L. S. (2011). *Microelements in the soil-tea plant system under the conditions of the Russian subtropics*. Sochi. 114 p. ISBN: 978-5-904533-13-7. EDN: <https://elibrary.ru/UIDFDZ>

5. Malyukova, L. S., Pritula, Z. V., Kozlova, N. V., Kerimzade, V. V., & Velikiy, A. V. (2016). On the formation of resistance in tea plants (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) under insufficient water supply against the background of root application of calcium as a natural fertilizer. *Agricultural Biology*, 51(5), 673–679. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.673eng>. EDN: <https://elibrary.ru/WZJQIT>
6. Malyukova, L. S., Tsyupko, T. G., Pritula, Z. V., Voronova, O. B., Gushaeva, K. S., & Velikiy, A. V. (2018). Composition and content of flavonoids in finished tea grown under the conditions of the Black Sea coast of Krasnodar Krai. In *Collection of scientific articles based on the materials of the X International Symposium “Phenolic compounds: functional role in plants”* (No. 3, pp. 272–277). Moscow: PRESS-BOOK.RU. EDN: <https://elibrary.ru/UVZCRL>
7. Ryndin, A. V., Malyukova, L. S., Tsyupko, T. G., Voronova, O. B., & Gushaeva, K. S. (2018). Features of the elemental composition of Krasnodar tea of the Kolkhida variety. *New Technologies*, (4), 224–229. EDN: <https://elibrary.ru/YXRFSX>
8. Borse, B. B., Rao, L. J., Nagalakshmi, S., & Krishnamurthy, N. (2002). Fingerprint of black teas from India: Identification of the regio-specific characteristics. *Food Chemistry*, 79, 419–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00191-7)
9. Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
10. Diniz, P. H., Pistonesi, M. F., Alvarez, M. B., Band, B. F., & Araujo, M. C. (2015). Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA). *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.012>
11. Ercisli, S., Orhan, E., Ozlem, S., Sengul, M., Gungor, N., & Orhan, E. (2008). Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* clone Derepazari 7) grown in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 46, 10–11.
12. Malik, J., Szakova, J., Drabek, O., Balik, J., & Kokoska, L. (2008). Determination of certain micro and macroelements in plant stimulants and their infusions. *Food Chemistry*, 111(2), 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.009>
13. Pang, Y., Abeyasinghe, I. S., He, J., He, X., Huhman, D., Mewan, K. M., Sumner, L. W., Yun, J., & Dixon, R. A. (2013). Functional characterization of proanthocyanidin pathway enzymes from tea and their application for metabolic

- engineering. *Plant Physiology*, 161(3), 1103–1116. <https://doi.org/10.1104/pp.112.212050>. EDN: <https://elibrary.ru/XZJXUM>
14. Peng, J., Aved, A., Seetharaman, G., & Palaniappan, K. (2017). Multi-view boosting with information propagation for classification. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. <https://doi.org/10.1109/TNN-LS.2016.2637881>
 15. Samarina, L., Malyukova, L., Wang, S., Li, Y., Doroshkov, A., Bobrovskikh, A., et al. (2024). Nitrogen deficiency differentially affects lignin biosynthesis genes and flavanols accumulation in tolerant and susceptible tea genotypes (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *Plant Stress*, 14, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100581>. EDN: <https://elibrary.ru/TRQWKD>
 16. Shahzad, Z., & Amtmann, A. (2017). Food for thought: How nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.008>
 17. Tseng, W., & Lai, H. (2022). Comprehensive analysis revealed the specific soil properties and foliar elements respond to the quality composition levels of tea (*Camellia sinensis* L.). *Agronomy*, 12(3), 670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030670>. EDN: <https://elibrary.ru/WBOVIO>
 18. White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets — Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine. *New Phytologist*, 182, 49–84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738>. EDN: <https://elibrary.ru/YCCVMX>
 19. Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports — FAO, (106)*. Rome. 181 c.
 20. Xue, S. G., Chen, Y. X., Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Lin, Q., & Fernando, D. R. (2004). Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae). *Environmental Pollution*, 131(3), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.011>
 21. Yashin, A. Y., Nemzer, B. V., Combet, E., & Yashin, Y. I. (2015). Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: A review. *Journal of Food Research*, 4(3), 56–88. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n3p56>
 22. Zaman, F., Zhang, E., Ihtisham, M., Ilyas, M., et al. (2023). Metabolic profiling, pigment component responses to foliar application of Fe, Zn, Cu, and Mn for tea plants (*Camellia sinensis*). *Scientia Horticulturae*, 319, 1. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112149>. EDN: <https://elibrary.ru/LOWPMV>
 23. Zhang, L., Zhang, J., Chen, L., Liu, T., Ma, G., & Liu, X. (2018). Influence of manufacturing process on the contents of iron, copper, chromium, nickel

and manganese elements in Crush, Tear and Curl black tea, their transfer rates and health risk assessment. *Food Control*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.food-cont.2018.01.030>

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Великий Андрей Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»

ул. Яна Фабрициуса, 2/28, г. Сочи, 354002, Краснодарский край, Российская Федерация

kriptooorxon@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Andrey V. Velikii, PhD in Agricultural Sciences

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences

2/28, Yan Fabricius Str., Sochi, 354002, Krasnodar Region, Russian Federation

kriptooorxon@mail.ru

Поступила 10.03.2025

После рецензирования 28.04.2025

Принята 12.05.2025

Received 10.03.2025

Revised 28.04.2025

Accepted 12.05.2025