

ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО ПРИРОДНОГО МАТЕРИАЛА НА СОСТОЯНИЕ БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ЧАЯ (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) В СУБТРОПИКАХ РОССИИ

© 2020 г. Л. С. Малюкова^{1,*}, З. В. Притула¹, Н. В. Козлова¹, А. В. Великий¹

¹ Федеральный исследовательский центр “Субтропический научный центр Российской академии наук”
354002 Сочи, Краснодарский край, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, Россия

*E-mail: MalukovaLS@mail.ru

Поступила в редакцию 03.04.2020 г.

После доработки 15.05.2020 г.

Принята к публикации 11.09.2020 г.

В условиях влажно-субтропической зоны России в полевом опыте изучали влияние применения кальцийсодержащего природного материала (глинисто-известковых отходов Адлерского карьера) на химический состав почв, урожайность и функциональное состояние растений чая. Установлено, что его применение в количестве 250 кг/га на фоне макроудобрений N240P70K90 способствовало менее выраженному подкислению бурых лесных кислых почв и снижению содержания в них обменных кальция и магния. На фоне применения этого материала отмечено улучшение калийного и фосфатного режима почв, а также активизация их биологической активности. Влияние изученного вещества на функциональное состояние растений проявлялось в увеличении активности каталазы в листьях, стабильности пигментного фонда и его функциональной активности, а также усилении синтеза танина и экстрактивных веществ. Эти процессы обеспечивали противодействие окислительному стрессу, повышая резистентность растений к неблагоприятным факторам среды, а также последующий выход из этого состояния, что способствовало усилению побегообразования и приросту урожайности в среднем на 20%.

Ключевые слова: культура чая, агрохимические свойства почв, кальцийсодержащий природный материал, биологическая активность почв, осмотический стресс, урожайность, физиология чая.

DOI: 10.31857/S0002188120120054

ВВЕДЕНИЕ

Чай является уникальной субтропической культурой, которую выращивают в зоне Черноморского побережья Краснодарского края более 100 лет [1]. При длительном возделывании чая на исходно кислых субтропических почвах (буроземах, желтоземах), как правило, развиваются процессы почвенной ацидизации [2, 3], приводящие к существенному снижению обменных форм кальция [2, 4], доступных растению, и кратковременному или долговременному дефициту этого элемента в периоды наиболее острой потребности, в частности, при засухе. Кальциевые удобрения в системе питания чая практически никогда не рассматривали, поскольку исходно было известно, что эта ацидофильная культура произрастает только на кислых почвах. Однако многолетние наблюдения авторов показали высокий биологический вынос и потребность чайного растения в этом элементе [5, 6], в последние годы также появились работы зарубежных коллег, в

которых показана эффективность применения некорневых подкормок кальцием [7, 8]. Учитывая также, что кальций является важнейшим многофункциональным элементом, который выполняет сигнальную стрессовую и осморегуляторную функции, индуцирует антиоксидантную систему и обеспечивает поддержание целостности мембран [7–10], необходимость его компенсации очевидна. Пополнить запас и улучшить обеспеченность растений этим элементом возможно путем внесения различных компонентов, в том числе кальцийсодержащих природных материалов, в частности известковых отходов горнодобывающей промышленности, применение которых в сельском хозяйстве курортной зоны имеет природоохранный и природо-восстановительный эффекты. Например, при камнедробильном производстве, поставляющим щебень для различных нужд, в результате отсева образуется мелкий материал, эти отвалы развеваются ветром и являются загрязнителями окружающей

среды. Эффективная утилизация этих отвальных субстратов, в частности, использование отходов в растениеводстве, требует предварительного изучения их химического состава и свойств, а также влияния на почву и растения.

В этой связи была поставлена цель — изучить в условиях полевого опыта влияния корневого применения кальцийсодержащего природного материала на химический состав почв и функциональное состояние растений чая в условиях влажно-субтропической зоны России.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили во влажно-субтропической зоне Черноморского побережья Краснодарского края, (г. Сочи, пос. Дагомыс, пос. Уч-Дере, 43.69° с.ш., 39.64° в.д.), для которой характерным является средняя многолетняя температура воздуха в пределах 12.8–16.5°C и годовое количество осадков 1313–2098 мм. Vegetационный период длится с апреля по октябрь, периодически в летний период отмечается засуха (<50 мм в месяц).

Почва опытного участка — бурая лесная кислая легкоглинистая на элюво-делювии аргиллитов согласно [11]. До наложения схемы опыта почва имела следующие агрохимические характеристики: pH_{KCl} 3.75 ± 0.14 , содержание подвижного алюминия — 6.43 ± 2.16 ммоль(экв)/100 г, содержание обменных кальция и магния — 8.40 ± 1.40 ммоль(экв)/100 г, содержание гумуса — $3.06 \pm 0.16\%$, содержание подвижного фосфора — 294 ± 37 и обменного калия — 273 ± 25 мг/кг. Полевой мелкоделяночный опыт был заложен на полновозрастной чайной плантации (сорт Колхида) (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в 2003 г. Опыт включал контрольный вариант N240P70K90 и вариант с внесением кальцийсодержащего природного материала в почву в дозе 250 кг/га на фоне N240P70K90 (этот вариант в таблицах и на рисунках обозначен как Ca) в трехкратной повторности.

Кальцийсодержащий природный материал представляет собой глинисто-известковые отходы, образующиеся при дроблении известняков на мелкие фракции щебня (карьер, Адлерский р-н). По гранулометрическому составу материал на 3/4 состоит из фракций тоньше 0.25 мм. Это вещество характеризуется слабощелочной реакцией водной суспензии (pH_{H_2O} 8.20), содержит в обменной форме кальций (10.9 ммоль(экв)/100 г), в меньшем количестве магний — 2.2 ммоль(экв)/100 г), а также азот, фосфор и калий. Площадь опытной делянки составляла 10 м^2 . Формы основных удоб-

рений: N_{aa} , P_{cd} , K_x , НАФК. Базовые удобрения, а также кальцийсодержащий материал вносили ежегодно в поверхностный слой почвы с заделкой.

Для характеристики химического состава этого материала было также определено валовое содержание 49 химических элементов количественными методами — масс-спектрометрическим и атомно-эмиссионным анализами с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES) по аттестованной методике НСАМ № 499-АЭС/МС “Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами”. Используемая аппаратура: масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Elan-6100 (“Perkin Elmer”, США); атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой спектрометр Optima-4300 DV (“PerkinElmer”, США). Для сравнительной характеристики изученного природного материала выполнен расчет кларков концентрации элементов (K_k) как отношения: $K_k = C_{\phi}/K$, где K — общая распространенность элементов для почв континентов (кларки почв) [12].

Исследованием комплекса показателей, характеризующих состояние почв и растений, был охвачен период 2011–2018 гг. Для оценки агрохимических свойств почв проводили отборы образцов в течение ряда лет (2010, 2016, 2018 гг.) в слое 0–20 см в весенний период (апрель), до внесения удобрений, который отражал последствие удобрений. Для оценки диапазона варьирования агрохимических и биологических свойств почв в течение вегетационного периода в 2015–2016 гг. были отобраны почвенные образцы в слое 0–20 см в апреле, июне, августе и сентябре. Анализ почв проводили по общепринятым методикам [13]: pH_{KCl} — потенциометрическим методом (ионметр рН-121), алюминий — по Соколову, азот легкогидролизуемый — по Тюрину–Кононовой, используя колориметрический метод с реактивом Несслера, прибор УСФ-01; фосфор подвижный — по Ониани с колориметрическим окончанием по Дениже (прибор УСФ 01); калий подвижный — по Ониани (прибор КВАНТ-АФА); содержание обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} — трилометрическим методом. Определение интенсивности “дыхания” почвы (мг CO_2 /кг почвы) проводили методом абсорбции с титрометрическим окончанием в трехкратной повторности. Навеску почвы 100 г, доведенной водой до 60% ПВ помещали в чашку Петри и инкубировали в герметично закрытых

полиэтиленовых пакетах в течение 24 ч с поглощающим CO_2 раствором – 0.1 н. NaOH . Остаток щелочи титровали 0.1 н. HCl . Определение активности ферментов проводили в свежих образцах почв методами в модификации Галстяна [14]: каталазы – газометрическим методом (по количеству выделившегося молекулярного кислорода), уреазы – колориметрическим методом учета аммония с реактивом Несслера.

Содержание в растительных образцах токсичных элементов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с использованием прибора iCAP-6000 (Thermo Scientific, США). Функциональное состояние растений оценивали по комплексу физиолого-биохимических показателей. Содержание танина определяли по методу Левенталея с пересчетным коэффициентом 5.82 по Джемухадзе, экстрактивных веществ – весовым методом по Воронцову [15]. Содержание фотосинтетических пигментов определяли в экстракте зеленых листьев (зрелый лист 5–6-месячного возраста) в 100%-ном ацетоне методом Шлыка [16]. Оценку функционального состояния фотосинтетического аппарата растений чая проводили по параметрам медленной индукции флуоресценции хлорофилла на приборе LPT-3C, согласно его инструкции, разработанной Будаговской и Будаговским [17]. Эффективность фотохимических реакций была оценена по показателю относительного тушения флуоресценции – индексу жизнеспособности (соотношение максимума флуоресценции к стационарной флуоресценции). Определение активности каталазы в листьях проводили газометрическим методом по методике Гунара [18].

В течение исследованного периода (2011–2018 гг.) проводили учет урожайности чая 5–8 раз за сезон в зависимости от метеорологических условий. Учет общего количества побегов, а также соотношение разнокачественных флешей и их массу определяли на выделенных учетных делянках площадью 0.25 м^2 в 2-х точках на каждой полевой повторности опыта.

Обработка данных проведена методами описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $p \leq 0.05$). В таблицах и на рисунках представлены средние \pm стандартное отклонение, а также диапазоны варьирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для комплексной характеристики химического состава исследованного природного материала, в том числе содержания токсичных элемен-

Таблица 1. Кларки концентраций токсичных и редких химических элементов в кальцийсодержащем материале

Приоритетные элементы	Sr (2.73), Cd (2.38), I (1.47), Mn (0.61), Ni (0.42), Mg (0.37), Sn (0.36), Ta (0.24), Pb (0.22), Zn (0.21), Ho (0.20), Li, Co, Er (0.18), Gd (0.17), Tm (0.15), Tb (0.14), Lu, Yb, Au, Sc (0.13), Eu, Sm, Dy (0.12), Yb (0.11)
Дефицитные элементы	Pr, Nd (0.09), K (0.07), Cu, Sb, Cs, Hf (0.08), Cr, Nb, Bi, Th, U (0.06), Al, Fe, Mo, Be, V, Rb (0.05), Ti (0.04), Na, Ga, Zr Ba (0.03)

тов, был рассчитан K_k 49 элементов. Исследованный материал содержал в среднем 40–50% кальция. Для 45 элементов K_k был <1 (табл. 1). Содержание иттрия в 1.5 раза превышало кларковое (4.7 мг/кг), что характерно для прибрежных карбонатных пород. Два других сопутствующих химических элемента Sr (600 мг/кг) и Cd (0.38 мг/кг), содержание которых было значительно больше кларка, не превышали установленные для них валовые ПДК почвы: 600 и 2 мг/кг соответственно.

Применение на бурых лесных кислых почвах чайных плантаций кальцийсодержащего материала было направлено на восполнение запасов кальция при существенном его выщелачивании в кислых условиях до критических показателей – 1–2 ммоль(экв)/100 г почвы [5, 6]. Исследование показало, что в целом на фоне применения этого материала в течение более 10 лет отмечали менее выраженный сдвиг pH в сторону кислого интервала в сравнении с контролем. Также снижалось содержание подвижного алюминия при соответствующем увеличении содержания обменных кальция и магния (табл. 2). На этом фоне закономерно прослеживалась активизация дыхательной и ферментативной активности почв (табл. 3).

В табл. 3 отражен диапазон варьирования почвенных параметров в течение вегетации, который демонстрирует, что пополнение в почве запасов обменного кальция сопровождалось увеличением содержания обменного калия за счет вытеснения его из почвенно-поглощающего комплекса, что улучшало питательный режим растений этим элементом, особенно необходимым в условиях недостаточного водообеспечения.

В отдельные периоды вегетации наблюдали снижение содержания в почвах подвижных фосфатов, которые в связи с их высоким химическим сродством к иону Ca^+ образуют слаборастворимые соединения [19]. При этом в энергетическом отношении фосфор этих кальцийсодержащих

Таблица 2. Влияние кальцийсодержащего природного вещества на агрохимические свойства почв (апрель, до внесения удобрений)

Вариант	рН _{KCl}	Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	N _{лг}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		ммоль(экв)/100 г				
2010 г.						
Контроль	3.26 ± 0.15	12.2 ± 1.3	3.1 ± 0.7	201 ± 28	667 ± 295	437 ± 37
Ca	3.50 ± 0.12	9.8 ± 0.9	4.8 ± 1.3	151 ± 17	488 ± 120	464 ± 55
2016 г.						
Контроль	3.31 ± 0.02	10.3 ± 0.9	3.3 ± 0.9	96 ± 13	428 ± 30	250 ± 40
Ca	3.50 ± 0.05	10.0 ± 1.6	3.5 ± 0.9	108 ± 3	347 ± 54	240 ± 12
2018 г.						
Контроль	3.38 ± 0.11	12.8 ± 0.8	2.6 ± 0.4	—	504 ± 30	360 ± 14
Ca	3.50 ± 0.05	10.6 ± 0.6	4.2 ± 1.0	—	437 ± 54	450 ± 52

компонентов жидких фаз почв (в отличие от алюмо- и железозосфатов) является более доступной формой для растений, что обусловлено высоким сродством лигандов корневых выделений к кальцию [19].

В период 2011–2012 гг. урожай зеленого чайного листа на фоне применения кальцийсодержащего материала был несколько меньше или соизмерим с урожаем контрольного варианта (рис. 1).

В последующий период при ежегодном использовании этого вещества отмечали стабильную прибавку урожайности в среднем ≈20%. При этом прирост урожайности в варианте с кальцием был обусловлен главным образом усилением побегообразовательной способности растений (табл. 4). Масса флешей и структура урожая (соотношение разновозрастных типов побега) варьировали незначительно и были соизмеримы.

Таблица 3. Диапазон варьирования агрохимических и биологических свойств бурых лесных почв в течение вегетации культуры чая (2015–2016 гг.)

Показатель	Варианты	
	Контроль	Ca
рН _{KCl}	2.95–3.28	3.23–3.44
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ , ммоль(экв)/100 г	2.9–4.5	3.9–5.3
N _{лг} , мг/кг	55–270	110–450
P ₂ O ₅ , мг/кг	780–1100	560–893
K ₂ O, мг/кг	300–450	400–660
“Дыхание” почв, мг CO ₂ /кг	35–90	100–130
Каталаза, мл O ₂ /г почвы/мин	1.0–3.9	6.2–8.9
Уреаза, мг NH ₃ /10 г почвы	2.5–3.0	10.4–12.2

В целом в благоприятные по гидротермическим условиям годы урожайность чая сорта Колхида варьировала в диапазоне 4.6–11.7 т/га (рис. 1) и была сопоставима с потенциально возможной для данной климатической зоны [6, 20]. Урожайность чая формировалась достаточно равномерно, главным образом в период май–начало августа (табл. 5), с некоторым преимуществом майских сборов, что обусловлено рядом экологических факторов, а также биологической особенностью растений. Потеря урожайности до 15–30% от валовой имела место при неблагоприятном весеннем периоде (возвратных холодах), а также до 50–60% – при наступлении летних засушливых периодов (июль–август), что подтверждало многолетние наблюдения за динамикой формирования урожая чая в условиях влажно-субтропической зоны России [6, 20].

Применение кальцийсодержащего материала существенно не повлияло на содержание в чайном сырье токсичных элементов, за исключением свинца, содержание которого было больше, но не выходило за рамки ПДК (табл. 6).

Изученный в данном исследовании комплекс физиолого-биохимических показателей раскрывает некоторые механизмы, предположительно опосредованные кальцием. Одним из наиболее информативных показателей выносливости растений к осмотическому стрессу наряду с другими ферментами (пероксидазой, супероксиддисмутазой и др.) рассматривается каталаза – основной фермент, ликвидирующий избыточные количества пероксида водорода, относящегося к индукторам активных форм кислорода [9, 21, 22]. Активность антиоксидантного фермента каталазы в зрелых листьях чайного растения в стрессовых условиях находилась на достаточно высоком

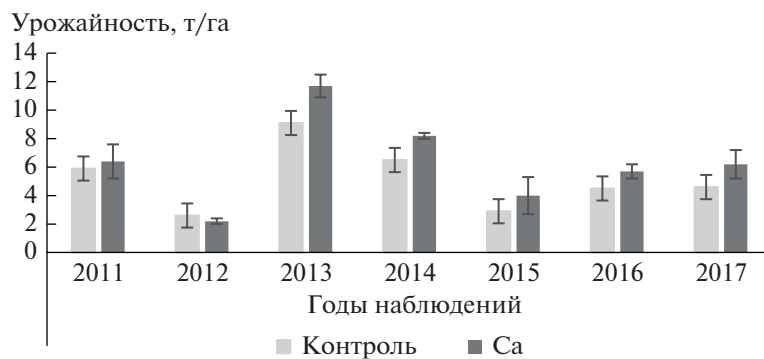


Рис. 1. Многолетняя динамика урожайности чая сорта Колхида (т/га), 2011, 2013, 2014, 2018 – годы с благоприятными метеоусловиями; 2012, 2015, 2017 – годы с неблагоприятными метеоусловиями.

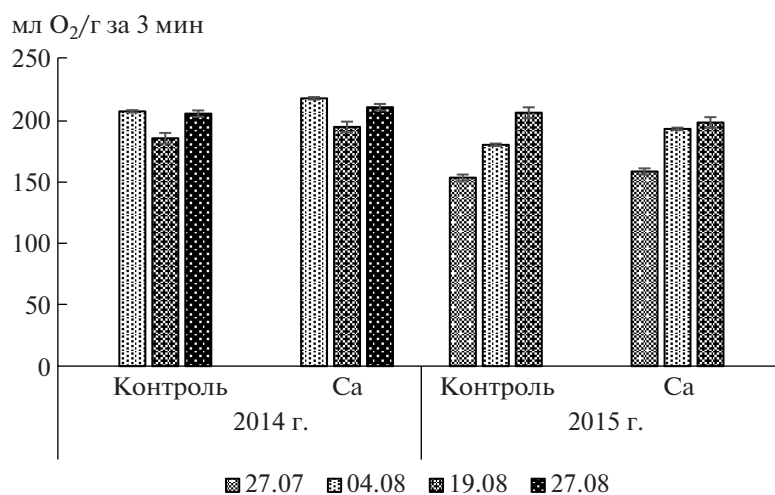


Рис. 2. Каталазная активность (мл O₂/г/3 мин) зрелых листьев чайного растения в напряженный по влагообеспеченности период.

уровне (рис. 2), что, согласно литературным данным, является первичным сигналом, свидетельствующим о возникновении окислительного напряжения [22].

При этом активность каталазы в варианте с кальцийсодержащим материалом достоверно превышала контроль, что указывало на более раннюю индук-

цию антиоксидантной системы растения и снижение за счет этого окислительных повреждений растений. Предположено, что при стрессе, кальциевый сигнал передается по пути, компонентами которого являются активные формы кислорода, что влияет на процессы, регулирующие ферменты антиоксидантной защиты [8, 23].

Таблица 4. Суммарное количество (шт./м²) и масса (г) разновозрастных типов побегов за вегетацию

Вариант	Средние показатели за 2013–2014 гг.				Общее количество побегов
	глухих	2-листных	3-листных	4-листных	
Контроль	$\frac{202 \pm 31}{0.63 \pm 0.07}$	$\frac{418 \pm 25}{0.57 \pm 0.05}$	$\frac{375 \pm 119}{0.98 \pm 0.11}$	$\frac{25 \pm 15}{1.66 \pm 0.13}$	1300 ± 100
Ca	$\frac{271 \pm 42}{0.69 \pm 0.12}$	$\frac{446 \pm 115}{0.58 \pm 0.04}$	$\frac{467 \pm 83}{0.95 \pm 0.07}$	$\frac{34 \pm 11}{1.59 \pm 0.21}$	1550 ± 100

Примечание. Над чертой – суммарное количество побегов, под чертой – масса побега.

Таблица 5. Динамика формирования урожая чая в течение вегетации, т/га

Месяцы	2011*		2013*		2015**		2017**		2018*	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Май	2.3	2.3	2.6	3.1	0.5	0.8	1.9	2.7	1.8	2.3
Июнь	0.5	0.9	2.2	2.6	1.0	1.6	0.7	0.8	0.4	0.6
Июль	1.8	1.9	1.9	2.7	0.4	0.7	1.4	1.7	1.3	1.6
Август	0.7	1.0	2.0	2.6	1.0	0.9	0.5	0.5	1.0	1.5
Сентябрь	0.6	0.4	0.5	0.7	0	0	0	0	0.1	0.2
Итого	5.9	6.5	9.2	11.7	2.9	4.0	4.5	5.7	4.6	6.2

Примечание. В графе 1 – контроль, 2 – применение кальцийсодержащего материала.

*Годы с благоприятными условиями.

**Годы с неблагоприятными условиями.

Одним из важных механизмов преодоления стресса рассматривается индукция образования и накопления различных вторичных метаболитов в растениях, в частности флавоноидов, антоцианов, пигментов и других веществ, которые, обладая антиоксидантными свойствами, снижают осмотический и окислительный стрессы [23, 24]. Для чайного растения эта тенденция также характерна, поскольку отмечено увеличение содержа-

ния танина и экстрактивных веществ в стрессовый летний период [25], а также в годы с низкой влагообеспеченностью (табл. 7).

На фоне применения кальцийсодержащего природного материала происходило более интенсивное образование и накопление органических компонентов, определяющих качество чая и его антиоксидантную активность (табл. 7, 8).

Одним из механизмов устойчивости растений к стрессам рассматривается сохранение стабильности фотосинтетического аппарата и за счет этого более эффективная его работа в постстрессовый период. В стрессовый летний период была выявлена тенденция к увеличению функциональной активности по показателю индекса жизнеспособности, который был больше в варианте с кальцием (рис. 3).

В ранневесенний период более высоким содержанием фотосинтетических пигментов характеризовались листья растений в варианте с применением кальцийсодержащего вещества по сравнению с контролем, что являлось, по-видимому, следствием сохранения целостности пигментного фонда в стрессовых условиях и его дальнейшего возобновления (рис. 4).

Таблица 6. Концентрация токсичных элементов (мг/кг абсолютно-сухого вещества) в 3-листной флеша чая сорта Колхида (средние данные за 2013 и 2017 гг.)

Вариант	Элемент			
	Cu	Cd	Pb	Sr
Контроль	9.12 ± 0.73	0.015 ± 0.005	4.29 ± 1.15	4.82 ± 0.53
Ca	9.72 ± 0.16	0.015 ± 0.005	6.13 ± 2.45	4.23 ± 0.56
ПДК	100	1.0	10.0	–

Таблица 7. Содержание органических веществ в 3-листной флеша чая (июль) в контрастные по метеорологическим условиям годы, %

Вариант	Экстрактивные вещества		Танин		Кофеин	
	2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.
Контроль	44.3 ± 0.6	42.8 ± 1.0	30.5 ± 1.2	31.1 ± 0.4	2.95 ± 0.28	3.15 ± 0.21
Ca	46.1 ± 0.8	42.9 ± 0.3	34.2 ± 1.9	32.4 ± 0.3	3.50 ± 0.12	3.39 ± 0.93

Примечание. 2012 г. – засушливый, 2013 г. – оптимальный по влагообеспеченности.

Таблица 8. Содержание органических компонентов в 3-листной флеша чая, % (среднее за 2011–2013 гг.)

Вариант	Экстрактивные вещества		Танин		Кофеин
	май	июль	май	июль	июль
Контроль	41.3 ± 0.9	43.1 ± 1.0	25.3 ± 1.9	31.3 ± 1.0	3.05
Ca	41.9 ± 0.8	43.8 ± 2.0	27.2 ± 2.1	32.8 ± 1.3	3.44

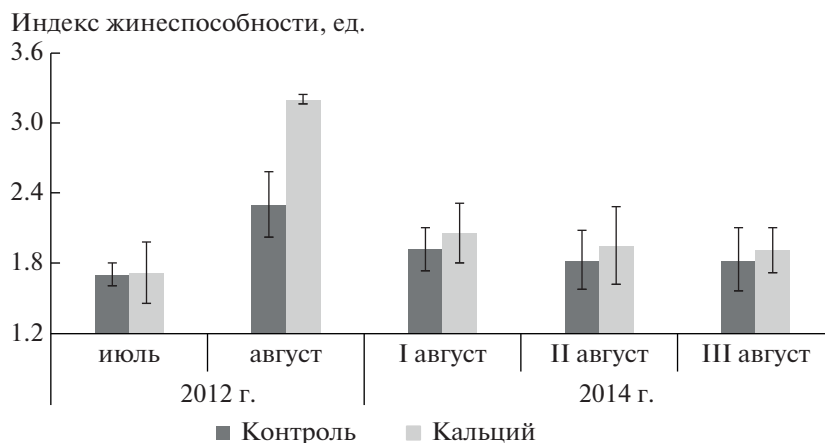


Рис. 3. Влияние кальцийсодержащего материала на индекс жизнеспособности зрелого листа чайного растения в летний стрессовый период.

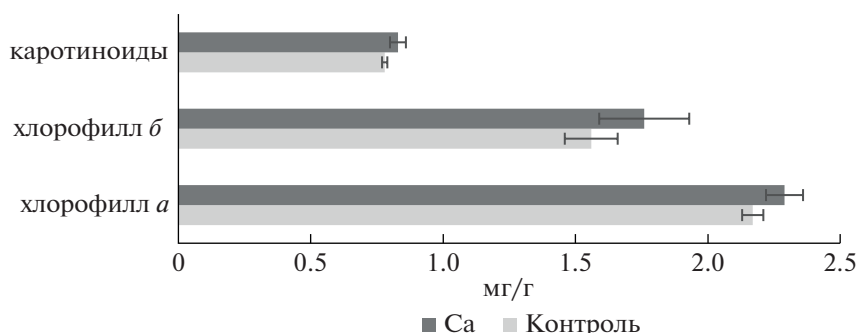


Рис. 4. Содержание фотосинтетических пигментов в зрелом листе чайного растения в ранневесенний период.

ВЫВОДЫ

1. Применение кальцийсодержащего природного материала при возделывании чая на бурых лесных кислых почвах сдерживало темпы acidизации и улучшало их питательный режим в отношении кальция, магния, фосфора, калия, а также активизировало их биологическую активность.

2. На фоне этих изменений отмечено повышение устойчивости растений чая к совокупному воздействию стресс-факторов за счет поддержания ферментативной активности листьев на более высоком уровне, индукции синтеза вторичных метаболитов, адаптивной перестройке пигментного фонда.

3. Улучшение функционального состояния растений при внесении кальцийсодержащего материала обеспечивало существенный прирост урожайности чая в среднем на 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рындин А.В., Туов М.Т., Малюкова Л.С. Становление, развитие, современное состояние и научное

обеспечение отрасли чаеводства в России // Субтроп. и декорат. сад-во. 2019. Вып. 69. С. 9–15. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-69-9-15>

2. Малюкова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестн. РАСХН. 2008. № 4. С. 26–27.

3. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России // Агрохимия. 2007. № 9. С. 3–9.

4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной acidизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. № 51. С. 259–267.

5. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Методические рекомендации по комплексной почвенно-растительной диагностике минерального питания чая. Сочи: ВНИИЦ и СК РАСХН, 2010. 37 с.

6. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России: Дис. ... д-ра биол. наук. Сочи, 2013. 343 с.

7. Upadhyaya H., Dutta B.K., Sahoo L., Panda S.K. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) // Amer. J. Plant Sci. 2012. № 3. P. 443–460.
8. Upadhyaya H., Panda S.K., Dutta B.K. CaCl₂ improves post-drought recovery potential in *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze // Plant Cell Rep. 2011. № 30. P. 495–450.
9. Bowler C., Fluhr B. The role of calcium and activated oxygen as signals for controlling cross-tolerance // Trend Plant Sci. 2000. № 5. P. 241–243.
10. Медведев С.С. Кальциевая сигнальная система растений // Физиология растений. 2005. Т. 52(2). С. 282–305.
11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
12. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2004. 194 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
14. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении // Тр. НИИ почвоведения и агрохимии. Ереван: Изд-во “Айастан”, 1974. Вып. 8. 275 с.
15. Воронцов В.Е. Биохимия чая. М.: Пищепромиздат, 1946. 279 с.
16. Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов зеленых листьев // Биологические методы в физиологии растений. М., 1971. С. 154–170.
17. Будаговская О.Н. Новые оптические методы и приборы количественной оценки адаптивного потенциала садовых растений // Плодоводство и ягодоводство России (ВСТИСП). 2001. Т. 28. С. 74–79.
18. Гунар И.И. Практикум по физиологии растений. М.: Колос, 1972. С. 100–102.
19. Кудярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. М.: Наука, 1995. 285 с.
20. Туов М.Т. Научные основы повышения качества и продуктивности чайных плантаций России: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Сочи: ВНИИЦиСК РАСХН, 1997. 417 с.
21. Мирошниченко О.С. Биогенез, физиологическая роль и свойства каталазы // Биополимеры и клетка. 1992. № 8 (6). С. 3–25.
22. Ли М., Ван Г., Лин Ц. Кальций способствует адаптации культивируемых клеток солодки к водному стрессу, индуцированному полиэтиленгликолем // Физиология растений. 2004. Т. 51 (4). С. 575–581.
23. Akola R., Ravishankar G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants // Plant Signal. Behav. 2011. № 6:11. P. 1720–1731. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>
24. Hernaandez I., Alegre L., Munne-Bosch S. Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants // Phytochemistry. 2006. № 67. P. 1120–1126.
25. Пritула З.В., Малукова Л.С., Козлова Н.В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта Колхида в условиях субтропиков России // Субтропическое и южное садоводство России. Науч. тр. ВНИИЦиСК РАСХН. Вып. 42. Т. 2. Сочи, 2009. С. 86–101.

Influence of Root Application of Calcium Containing Natural Substance on the State of Brown Forest Acid Soils and Tea Plants (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) in Russian Subtropics

L. S. Malyukova^{a,#}, Z. V. Pritula^a, N. V. Kozlova^a, and A. V. Velikii^a

^a Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences
ul. Jana Fabritziusa 2/28, Krasnodar region, Sochi 354002, Russia

[#] E-mail: MalukovaLS@mail.ru

In the conditions of the humid subtropical zone of Russia, the field experiment the effect of root application of calcium-containing natural substances on the chemical composition of soils, yield and functional state of tea plants are studied. It was established that its application from the calculation of Ca100 against the background of macro-fertilizers (N240P70K90) contributed to a less pronounced acidification of brown forest acidic soils and the maintenance of metabolic calcium and magnesium in them at a higher level compared to the control. Against the background of the use of this material, an improvement in the potassium and phosphate regime of soils, as well as the activation of their biological activity, was noted. The influence of the studied substance on the functional state of plants was manifested in an increase in the activity of catalase in the leaves, an increase in the synthesis of tannin and extractive substances, an increase in the stability of the pigment fund and an increase in its functional activity. These processes provided resistance to oxidative stress, increasing the resistance of plants to adverse environmental factors, as well as the subsequent exit from this state, which contributed to increased shoot formation and yield growth by an average of 20%.

Key words: tea, agrochemical properties of soils, biological activity of soils, osmotic stress, calcium-containing natural substance, yield, tea physiology.