

УДК 631.4:633.72 (262.5+470)

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЧАЯ В РОССИИ

Малюкова Л.С., д-р биол. наук

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский
институт цветоводства и субтропических культур
(г. Сочи)

Реферат. Показана эффективность и целесообразность комплексного применения макро- и микроудобрений в агроценозах чайных плантаций при их длительном возделывании. Такой подход позволяет обеспечить их стабильную урожайность, в том числе в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы при сохранении или некотором увеличении качества сырья, а также сохранение и воспроизводство плодородия почв.

Ключевые слова: чайная плантация, минеральные удобрения, бурые лесные почвы, плодородие почв.

Summary. The efficiency and expediency of complex application of macro - and micro-fertilizers in agro-cenoses tea plantations during their long cultivation. Such approach allows to achieve stable yield, including unfavorable weather conditions the years when saving or some increase in the quality of raw materials and the preservation and reproduction of soil fertility.

Keywords: Tea plantation, mineral fertilizers, brown forest soils, soil fertility.

Введение. Чайное растение в агроэкосистемах обладает достаточно широким диапазоном адаптации к внешним условиям, но для реализации его продукционного потенциала требуется оптимальный уровень минерального питания. В связи с этим, система удобрения чайных плантаций в ряду агротехнических приёмов, обеспечивающих её функционирование, всегда занимала ведущую роль, определяя более половины прироста урожайности, в т.ч. в условиях недостаточного влагообеспечения. Многочисленными исследованиями показана высокая эффективность применения на чайных плантациях в различных чаепроизводящих регионах мира в составе удобрений таких элементов, как азот, фосфор, калий, марганец, железо, медь, цинк, бор [2, 5, 6, 7, 8, 14, 19, 20, 21, 22].

В последние десятилетия в отрасли чаеводства России стала отмечаться тенденция снижения или полного отказа от применения минеральных удобрений («органическое земледелие»). Такая практика удобрения чайных плантаций в течение длительного времени (более 20 лет) приводит к нарушению агробиогеохимических циклов химических элементов и, как следствие этого, формированию их отрицательного баланса, а также в целом деградации почв [4, 10].

В этой связи для обоснования целесообразности возвращения к научно-обоснованным системам применения минеральных удобрений на чайных плантациях требуется привлечение новых экспериментальных данных, базирующихся на многолетних наблюдениях за различными компонентами агроэкосистемы, позволяющих показать не только высокую эффективность применения многокомпонентных систем удобрения в агроценозах, но и экологические аспекты изменения состояния агроэкосистем при длительной их эксплуатации, в том числе в условиях ограниченного использования минеральных удобрений.

Объекты и методы исследований. В этом аспекте были проанализированы многолетние экспериментальные данные, полученные за период с 1986 г. по 2013 г. в условиях 2-х полевых опытов на чайной плантации сорта Колхида с применением удобрений на

бурой лесной кислой почве чайной плантации (1986–2010 гг. – опыт с макроудобрениями; 2003–2013 гг. – опыт с применением микроудобрений). Данные отражали эффективность применения (в том числе длительного), различных видов и доз макро- и микроудобрений (N, P, K, B, Zn, Mg, Ca), особенности макро- и микроэлементного состава почв и растений чая на различных вариантах опыта, характеризующихся в результате длительного возделывания чая различным уровнем плодородия почв (кислотно-основные свойства, питательный режим, содержание гумуса). Комплексная оценка этого блока данных позволила получить наиболее развернутое объективное агроэкологическое состояние многолетней агроэкосистемы чайной плантации при различных системах её удобрения. Представленные в статье результаты лабораторных исследований проводились по общепринятым стандартным методикам [1].

Обсуждение результатов. Азот, фосфор и калий являются основными биогенными элементами минерального питания большинства растений, в том числе и чая, значительный вынос которых с урожаем в агроценозах определяет необходимость их практически ежегодной компенсации. Азот, помимо основной структурной функции, играет особую роль в регулировании активности эндогенных стимуляторов роста растений, в связи с чем его роль для листоурожайной культуры существенно выше, по сравнению с другими элементами. Фосфор, являясь одним из основных компонентов нуклеотидов, ферментов, сахарофосфатов, АДФ, АТФ, участвует в синтезе белков, росте и размножении растительной клетки, передаче наследственных признаков [18]. Калий играет регуляторную роль в активации ферментных реакций, а также оптимизирует осморегуляцию растений [14]. Мезо и микроэлементы оптимизируют синтез полного спектра ферментов; повышают устойчивость к экстремальным погодным условиям (в частности, к засухе) за счет влияния на направление биохимических процессов (повышение содержания связанной воды и водоудерживающей способности тканей, уменьшение транспирации) [9].

Высокая эффективность азотных удобрений в агроценозах чайных плантаций прослеживалась как при ежегодном, так и многолетнем их применении, что определялось помимо важной физиологической роли элемента, менее выраженным последствием, поскольку в отличие от ряда других элементов в почве не формируется переходящий запас его соединений. Оценка эффективности различных доз азотных удобрений была проведена по показателю «окупаемость минеральных удобрений», под которым понималась величина прибавки урожайности, полученной от внесения 1 кг питательных веществ удобрения [13]. Установлено, что на полновозрастных чайных плантациях (на фоне среднего уровня плодородия почв чайных плантаций при благоприятных метеорологических условиях вегетационного периода) максимальная окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая (18-23 кг/кг) была достигнута в диапазоне доз 240-300 кг/га д.в. Для молодых чайных плантаций (до 4-6 лет) на фоне среднего уровня плодородия почв наиболее эффективной являлась доза азотных удобрений – 140-180 кг/га д.в. в сочетании с необходимыми дозами фосфорных и калийных удобрений, которая обеспечивала окупаемость удобрений прибавкой урожая – 10-16 кг/кг. В экстремальных условиях (дефицит влаги, высокие температуры, заморозки) дозы азотных удобрений выше 200-240 кг/га д. в. оказались практически не эффективными в связи с меньшим его выносом при более низкой урожайности в этих условиях, а также другими факторами. Показатели качества чайного сырья (танин, экстрактивные вещества) напрямую зависели от доз азотных удобрений. Наиболее оптимальными дозами азотных удобрений для полновозрастных чайных плантаций с точки зрения сохранения баланса урожайности и качества продукции являлись дозы до 200-240 кг/га д.в. Длительное применение азотных удобрений обеспечивало закономерный рост содержания азота в почве, демонстрирующий возросший уровень их плодородия, однако при моноазотной системе

удобрения (при росте содержания гумуса и его запасов в почвенном слое 0-20 см) отмечалось снижение этих показателей в почвенном слое 20-40 см, что характеризовалось отрицательным сальдо (-7,8 т/га за 20 лет).

Длительное изучение эффективности ежегодного применения фосфорных и калийных удобрений на чайных плантациях позволило констатировать, что на фоне высокой и средней обеспеченности почв фосфором и калием их влияние на урожайность в большей степени проявлялось при неблагоприятных метеорологических условиях (весенние заморозки, дефицит влаги в летний период) (рис. 1), что определялось их существенной ролью в стимулировании защитных реакций растительного организма. Так, при применении 100-150 кг/га K_2O в сочетании с фосфором и азотом отмечалась более низкая концентрация клеточного сока флешей (9,0-9,5 %, при 11,5 % на контроле) и меньшая потеря тургора, что сказывалось на коэффициенте засухоустойчивости (0,75-0,85, при 0,58 на контроле); а также существенное увеличение содержания каротиноидов, выполняющих протекторную роль в защитных реакциях растительного организма [3].

Последствие фосфорных удобрений сохранялось в течение последующих 25 лет, обеспечивая бездефицитный баланс фосфора в почве и потребности чайного растения в этом элементе. Возделывание чайного растения без применения калийных удобрений в течение длительного времени (более 20 лет) приводило к формированию отрицательного баланса калия в почве, существенному снижению содержания обменного и необменного калия, что в конечном итоге приводит к их деградации в отношении этого элемента.

Роль калийных и фосфорных удобрений в формировании качества чая однозначно не проявилась. Их воздействие (как положительное, так и отрицательное) отмечалось только периодически [16]. В целом, несмотря на отсутствие четких закономерностей влияния фосфорных и калийных удобрений на качественные показатели чая, связанное с достаточно высокой обеспеченностью почв подвижными формами фосфора (в связи с длительным применением фосфорных удобрений) и калия (исходно высокая обеспеченность почв), их применение на фоне высоких доз азотных удобрений несколько снижало отрицательное воздействие последних, за счет более сбалансированного поступления элементов в чайное растение.



Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на урожайность чайной плантации в неблагоприятные по термическим условиям годы (заморозки в весенний период)

Примечание. Кодирование вариантов: 0, 1, 2, 3 — единичные дозы NPK, которые составляли по азоту — 200 кг/га д.в., по фосфору — 60 кг/га д.в., по калию — 50 кг/га д.в.

Статистический анализ многолетнего блока данных (урожайности первого сбора чая) показал значительную роль этих видов удобрений (РК) в многолетней стабильности урожайности чайных плантаций (табл. 1). Помимо стандартных показателей для каждого варианта опыта оценены величины комплексного показателя продуктивности \bar{Y} (при $k = 1$): $\bar{Y} = \bar{X} - k\sigma_x$, где k – безразмерный эмпирический коэффициент, который определяется, исходя из экономических соображений, а также индекс стабильности X : $X = (\bar{x} - \sigma_x) / x_{\min}$. Эти показатели (\bar{Y} и X) широко применяются в агротехнических исследованиях в США и в сочетании с другими показателями дают возможность оценить уровень стабильности продуктивности в многолетнем ряду наблюдений [23]. Анализ показал, что максимумы \bar{X} и \bar{Y} (равные 22,0 и 11,4 ц/га, соответственно) приходятся на один и тот же вариант опыта – 331. То есть при абсолютном росте урожайности с увеличением доз удобрений с учетом её изменчивости вариант 331 оказывается наиболее предпочтительным в многолетнем ряду наблюдений. Близкими к нему показателями \bar{Y} и \bar{X} обладали и варианты 313, 202, 220, устойчиво обеспечивая формирование высокой урожайности. Максимальный индекс стабильности урожайности отмечен для варианта 311, который длительный период (1993-1999 гг.) рассматривался как оптимальный по урожайности. Близкими к нему по значениям являлись варианты 313, 331, 133. То есть многолетняя стабильность урожайности чайных плантаций выявлена только при совместном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений. В целом целесообразность внесения этих удобрений обоснована необходимостью сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, стабилизацией продукционного процесса в экстремальных условиях, а также для поддержания баланса урожайности и качества продукции.

Таблица 1 – Статистический анализ урожайности первого сбора чая по вариантам многолетнего опыта за период 1989–2006 гг., ц/га

Варианты	\bar{x}	σ_x	\bar{Y}	x_{\min}	x_{\max}	X
000	6,7	4,16	2,5	0,6	15,6	0,16
111	15,6	9,40	6,2	3,8	33,6	0,18
113	14,4	11,08	3,3	4,9	49,6	0,07
131	14,7	7,72	7,0	4,7	34,3	0,20
133	16,9	8,09	8,8	7,1	32,5	0,27
200	17,4	8,88	8,5	5,9	37,9	0,22
202	20,0	10,44	9,6	5,3	41,3	0,23
220	19,4	11,38	8,0	3,7	46,3	0,17
222	18,7	9,07	9,6	4,3	34,5	0,28
311	16,9	7,28	9,6	7,3	28,2	0,34
313	21,5	10,51	11,0	4,8	36,5	0,30
331	22,0	10,63	11,4	3,7	38,8	0,30
333	19,2	13,50	5,7	6,2	59,9	0,10

Примечание. \bar{X} – средние величины, σ_x – среднее квадратическое отклонение, \max и \min – экстремумы, \bar{Y} – комплексный показатель продуктивности, X – индекс стабильности урожая. Кодирование вариантов: 0, 1, 2, 3 — единичные дозы NPK, которые составляли по азоту — 200 кг/га д.в., по фосфору — 60 кг/га д.в., по калию — 50 кг/га д.в.

Анализ литературных данных, посвященный оценке эффективности применения микроудобрений на чайных плантациях, а также собственные исследования [11], касающиеся обеспеченности почв и растений чая мезо- и микроэлементами позволили выявить спектр наиболее важных для растения чая мезо- (Ca, Mg), а также микроэлементов (Mn, Fe, B, Zn, Cu). При этом эти элементы по их содержанию в почвах чайных плантаций можно разделить на 2 группы. К 1-ой группе были отнесены Mn, Fe, Cu, содержание которых в почвах оценивалось как высокое и, соответственно, дополнительное почвенное их внесение рассматривалось, как менее нерациональное. Ко 2-ой группе были отнесены Zn, B, Ca, Mg, содержание которых в бурых лесных почвах чайных плантаций оценивалось как среднее и даже низкое, что определяло перспективность их почвенного внесения.

Изучение содержания и распределения микроэлементов по органам чайного растения показало, что оно концентрирует в своей биомассе большое количество марганца, в значительном количестве содержится также железо и медь (табл. 2). Процесс поступления микроэлементов в растение контролируется комплексом факторов: концентрацией элементов в почвенном растворе, наличием ионов-антагонистов, механизмом поглощения элемента растениями. Рост кислотности почвенной среды (на фоне применения высоких доз минеральных удобрений) обеспечивает повышение подвижности и доступности изученных микроэлементов (Mn, Fe, Cu, Zn) в ризосферной зоне, что приводит к увеличению их содержания в корневой системе растений.

Однако дальнейший процесс перераспределения микрокомпонентов питания между органами чайного растения происходит более избирательно, в соответствии с их физиологической потребностью, а также преимущественным поглощением макроэлементов. В этой связи для ряда изученных элементов (Mn, Fe, Cu, Zn) прослеживалась тенденция снижения их содержания в 3-листной флеша при внесении макроудобрений, что, по-видимому, являлось одной из причин снижения биохимических показателей качества чайного сырья (танин, экстрактивные вещества), поскольку между ними установлена тесная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,80-0,95$).

Таблица 2 – Содержание и распределение микроэлементов (мг/кг) по органам чайного растения в зависимости от доз минеральных удобрений

Вариант	Элемент	Орган растения			
		корень	стебель	лист	3-х листовая флеша
N ₀ P ₀ K ₀	Mn	180,0	1125,0	1600,0	660,8
	Fe	265,5	76,0	59,5	40,3
	Cu	4,7	8,0	6,3	17,3
	Zn	1,5	29,7	6,5	39,2
N ₂₄₀ P ₀ K ₁₀₀	Mn	215,0	1100,0	1745,0	501,4
	Fe	333,0	90,5	95,0	39,0
	Cu	6,9	10,0	6,7	15,5
	Zn	9,9	12,5	6,8	34,5
N ₃₆₀ P ₁₈₀ K ₁₅₀	Mn	225,0	1420,0	2200,0	534,2
	Fe	408,0	103,0	83,0	33,5
	Cu	7,1	9,4	6,7	14,5
	Zn	8,6	15,6	7,2	35,5

В целом, учитывая высокое содержание в почвах подвижных форм марганца, железа и меди, эти элементы были исключены из ряда наиболее дефицитных для чая, требую-

щих дальнейшего изучения эффективности их почвенного внесения. Однако их важность для растений чая определяет в некоторых случаях целесообразность их некорневого внесения, поскольку в работах З.В. Притула и О.Г. Белоус [2, 15] показано, что некорневые обработки чайного растения этими элементами способствовали повышению сортности сырья, росту массы флешей, усилению побегообразовательной деятельности и урожайности в среднем на 12 %, а также влияли на качество готовой продукции. В отношении второй группы элементов проведены комплексные исследования показавшие высокую эффективность почвенного внесения удобрений, содержащих бор и цинк (6 и 4,3 кг/га д.в., соответственно) в условиях Черноморского побережья России, в частности рост урожайности чайной плантации на 34 и 10 %, соответственно [12], при росте содержания в 3-листных флешах чайного растения танинов, в меньшей степени экстрактивных веществ, характеризующих качество чайного сырья [17]. Внесение кальцийсодержащего (100 кг/га д.в.) и магниевого удобрений (60 кг/га д.в.), помимо положительного влияния на урожайность и качество чайного сырья, восстанавливало содержание в почве обменных форм этих элементов, относящихся к важнейшим биогенным, и снижало почвенную кислотность до значений, не препятствующих нормальному росту и развитию чайного растения. В этой связи с целью оптимизации физиолого-биохимического состояния чайных растений при интенсивной системе возделывания, особое внимание следует уделять его химическому составу, в частности микроэлементному. В случае выявления дисбаланса поглощения макро- и микроэлементов наряду с макроэлементами следует применять микроудобрения (в частности, содержащие марганец, медь, железо, бор, цинк), которые способствуют сохранению и некоторому повышению качества чайного сырья за счет сбалансированного поступления макро- и микроэлементов в 3-листные флешы чайного растения.

Выводы. Таким образом обобщение экспериментальных данных длительного (25 лет) периода наблюдений за состоянием агроэкосистемы показало эффективность и целесообразность многокомпонентной системы удобрения чайных плантаций, обеспечивающей стабильный урожай в многолетнем ряду наблюдений, сохранение или повышение синтеза фенольных соединений, определяющих качество чайного листа, сохранение и воспроизводство плодородия почв. Поэтому, блок применения удобрений для чая, включающий в себя нормированное применение преимущественно NPK, должен быть расширен как минимум до 7 элементов, включая Ca, Mg, B, Zn. К тому же в условиях Черноморского побережья Краснодарского края следует применять дифференцированный подбор видов и доз минеральных удобрений с учетом неоднородности почвенного покрова, в частности, уровня их плодородия относительно чайного растения, а также ряда других факторов.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв [Текст] / отв. ред. А.В. Соколов. – М. Наука, 1975. – 759 с.
2. Белоус, О.Г. Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России [Текст] / О.Г. Белоус; ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Краснодар: РИО КГАУ. – 2006. – 164 с.
3. Белоус, О.Г. Влияние минеральных удобрений на пигментный состав листьев растений чая в условиях субтропиков России. [Текст] / О.Г. Белоус, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. научн. тр. ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии, 2011, Вып. 44. – С. 135-143.
4. Беседина, Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая [Текст] / Т.Д. Беседина. – Краснодар: КубГАУ, 2004 (а). – 169 с.
5. Годзиашвили, Б.А. Влияние химической мелиорации длительно удобряемого краснозема на рост и развитие чайных саженцев [Текст] / Б.А. Годзиашвили // Субтроп. культуры. – 2010. – № 1-4. – С. 148-151.

6. Голетиани, Г.И. Основы удобрения чайной плантации [Текст] / Г.И. Голетиани; отв. ред. О.Н. Качарава. – Сухуми: Алашара, 1976. – 192 с.
7. Георгадзе, Е.Ю. Влияние режима усиленного питания на накопление марганца в чайном листе и на качество готовой продукции [Текст] / Е.Ю. Георгадзе // Субтроп. культуры. – 1963. – № 1. – С. 15-19.
8. Дзадзуа, О.Л. Влияние микроэлементов хелатных соединений и клиноптилолита на качество чая [Текст]: автореф. дис. ... с.-х. канд. наук / Дзадзуа О.Л. – Сухуми, 1991. – 25 с.
9. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления [Текст] / В.Г. Сычев и др. ; Рос. акад с.-х. наук, ГНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова.– М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
10. Козлова, Н.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России [Текст] : дис. ... канд. биол. наук / Козлова Н.В.; науч. рук. Л.С. Малюкова. ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – М., 2008.– 170 с.
11. Малюкова, Л.С. Микроэлементы в системе почва – чайное растение в условиях субтропиков России [Текст]: моногр./ Л.С. Малюкова. – Сочи: ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии, 2011.– 114 с.
12. Малюкова, Л.С. Влияние мезо- и микроудобрений на урожай чайного листа и плодородие бурых лесных кислых почв чайных плантаций Черноморского побережья России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, В.В. Великий // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 1. – С. 18-21.
13. Методика разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур [Текст] / В.Г. Сычев и др.– М.: ВНИИА, 2009.– 48 с.
14. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях [Текст] / Н.В. Пухальская и др.; РАСХН, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. – М.: ВНИИА, 2009. – 192 с.
15. Притула, З.В. Влияние микроэлементов на химический состав и продуктивность растений чая [Текст] / З.В. Притула, О.Г. Белоус // Бюл. / ВНИИУиА им. Д.Н. Прянишникова / под ред. Н.З. Милащенко. – М.: ВИУА, 2001. – № 115. – С. 12-13.
16. Притула, З.В. Влияние минеральных удобрений на биохимические показатели качества чайного листа сорта Колхида в условиях субтропиков России [Текст] / З.В. Притула, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Агрохимия. –2011. –№ 3. –С. 33-40.
17. Притула, З.В., Влияние мезо- и микроудобрений на качество чайного сырья в условиях Черноморского побережья России / Притула З.В., Великий А.В., Малюкова Л.С. // Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. работ ВСТИСП. – М., 2014.– Т. 38., вып. 2. – С. 52-58.
18. Сычев, В.Г. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях [Текст] / В.Г. Сычев, Н.А. Кирпичников; РАСХН, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова.– М.: ВНИИА, 2009. – 176 с.
19. Чанишвили, Ш.Ф. О значении и перспективах применения марганцевых удобрений под сельскохозяйственные культуры в условиях Грузинской ССР [Текст] / Ш.Ф. Чанишвили // Тр. Всесоюз. сов. по микроэлементам. – Рига, 1955. – С. 164-68.
20. Цанава, В.П. Применение удобрений на чайных плантациях [Текст] / В.П. Цанава // Агрохимия. –1971. –№ 1. – 143-49.
21. The effects of soil amendments on selected properties of tea soils and tea plants (*Camellia sinensis* L.) in Australia and Srilanka // Thesis submitted by Meragalge Swarna Damayanthi Luxmei De Silva BSc, MPhil (Crop science) / University of Peradeniya. — Sri Lanka–Australia, 2007. –271 p.
22. Hrishikesh Upadhyaya, Biman K. Dutta³, Lingaraj Sahoo, Sanjib K. Panda . Comparative Effect of Ca, K, Mn and B on Post-Drought Stress Recovery in Tea [*Camellia sinensis* (L.) *O Kuntze*] // *American Journal of Plant Sciences*, 2012, 3, 443-60.
23. Hoogenboom, G. An integrated decision support system for crop model application [Text] / ASAE Paper 94-3025 ;G. Hoogenboom, J.W. Jones, L. A. Hunt, P.K. Thornton, N.W. Pickering, and G.Y. Tsuji // American Society of Agricultural Engineers. – Michigan, 1994. –P. 10-20.