

Автоматизация расчёта систем удобрений в промышленных многолетних насаждениях

Потанин Д.В.^{1✉}, Иванова М.И.²

¹Агротехнологическая академия Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Россия, 295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное;

²Центр агрохимической службы «Крымский», Россия, 295017, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 75/1

✉potanin.07@mail.ru

Аннотация. Стабильное питание растений макро- и микроэлементами в количествах, необходимых для их роста, развития, а также формирования урожая в насаждениях многолетних культур (плодовых и винограда) обеспечивает высокую их продуктивность. Это создаёт объективную потребность разработки электронной программы для формирования системы удобрений сельскохозяйственных культур и, в частности, многолетних насаждений в зависимости от урожая, почвенных, а также других факторов, сложившихся в конкретных условиях производства. Применение компьютерной программы по расчёту системы удобрений позволит автоматизировать их расчёт в зависимости от уровней доступности веществ по сезонам, а также способу подкормок, определить правильные нормы их внесения, а также общехозяйственную потребность в прогнозируемый сезон. Корректировка фактического внесения удобрений в виде подкормок в зависимости от результатов листовой диагностики позволит определить особенности удобрения каждого отдельного участка в зависимости от особенностей почвы и объёмов производимой продукции. Расчёт систем удобрений для сельскохозяйственных культур должен включать в себя три основных этапа: доведение содержания основных макро- и микроэлементов, влияющих на продуктивность растений до оптимальных значений, определение и компенсация за счёт подкормок выноса элементов с заданным урожаем, а также корректировка подобранной системы с применением мониторинга концентраций питательных веществ листовой диагностикой. Данный подход позволяет не только обеспечить достаточное содержание доступных для растений элементов питания, но также и выполняет главную функцию сельского хозяйства – обеспечить в своей деятельности поддержание и повышение почвенного плодородия.

Ключевые слова: адаптивное сельское хозяйство; плодоводство; виноградарство; удобрение; подкормки; урожайность; почвенное плодородие; цифровизация.

Для цитирования: Потанин Д.В., Иванова М.И. Автоматизация расчёта систем удобрений в промышленных многолетних насаждениях // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2023;25(2):163-169. DOI 10.34919/IM.2023.25.2.009.

Automation of calculating fertilizing systems in industrial perennial plantings

Potanin D.V.^{1✉}, Ivanova M.I.²

¹Agrotechnological Academy of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «V.I. Vernadsky Crimean Federal University», Agrarnoye village, 295492 Simferopol, Republic of Crimea, Russia;

²Center of Agrochemical Service “Krymsky”, 75/1 Kievskaya str., 295017 Simferopol, Republic of Crimea, Russia

✉potanin.07@mail.ru

Abstract. Consistent nutrition of plants with macro- and microelements in the quantity necessary for their growth and development, as well as crop formation in perennial plantings (fruits and grapes) ensures their high productivity. This creates an objective need to design software for the development of fertilizing system for agricultural crops and, in particular, perennial plantings, depending on the yield, soil and other factors prevailing in particular production conditions. Using of a computer program to calculate fertilizing system will allow you to automate calculations depending on the level of substance availability by season and method of top dressing, as well as to determine the correct application rates and general economic need for the forecasted season. The correction of actual application of fertilizers in the form of top dressings according to the results of foliar diagnostics, will allow determining the characteristics of fertilizing of each individual plot, depending on the soil and volume characteristics of production. The calculation of fertilizing systems for agricultural crops should include three main stages: adjusting the content of basic macro- and microelements affecting the plant productivity to optimal values, determining and compensating by top dressing the removal of elements with a yield, as well as adjusting the selected system with monitoring of nutrient concentrations using foliar diagnostics. This approach does not only ensure a sufficient content of available nutrients, but also performs the main function of agriculture - to ensure in its activities the support and increase of soil fertility.

Key words: adaptive agriculture; fruit growing; viticulture; fertilizer; top dressing; cropping capacity; soil fertility; digitalization.

For citation: Potanin D.V., Ivanova M.I. Automation of calculating fertilizing systems in industrial perennial plantings. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2023;25(2):163-169. DOI 10.34919/IM.2023.25.2.009 (in Russian).

Введение

Одним из важных факторов, обеспечивающих высокую продуктивность интенсивных насаждений,

является надёжное и стабильное питание растений макро- и микроэлементами в количествах, необходимых для формирования урожая [1–4]. Это обеспечивается за счёт применения удобрений в различные сроки, а также способы их внесения [5, 6]. Сегодня используется не только внесение основных удобре-

ний в корнеобитаемый слой почвы, но и проводится подкормка растений с поливной водой, а для быстрого обеспечения макро- и микроэлементами – некорневыми подкормками [7–9].

В большинстве случаев расчёт удобрений проводится на основе уже существующего опыта предприятий либо общих рекомендаций, не учитывающих дефицит в элементах питания [10–12]. Так, в системах питания плодовых культур и виноградниках на фертигации зачастую изучается внесение удобрений в концентрациях по действующим веществам (д. в.) $N_{60}P_{90}K_{90}$, $N_{90}P_{120}K_{120}$ или другим без учёта выноса элементов с урожаем и растительными остатками [9, 12].

Учеными [3, 5, 13, 14] предлагается использовать различные подходы в решении вопроса улучшения питания сельскохозяйственных многолетних культур.

Условно их можно разделить на три основные группы:

- с учётом содержания подвижных форм макро- и микроэлементов в почве;
- с учётом выноса элементов питания с урожаем и растительными остатками;
- по данным объективного мониторинга концентраций элементов в вегетирующих частях растений с определением дефицита и его последующего оперативного устранения.

Для рационального применения удобрений следует внедрять комплекс уже наработанных решений на основе всех этих подходов [15, 16]. Это требует разработки электронной программы для формирования системы удобрений многолетних насаждений в зависимости от урожая и почвенных условий [17].

За рубежом в последнее время появляется всё больше публикаций о разработке подобных систем на основе искусственного интеллекта с применением ресурсов нейросетей [18, 19]. Сами разработки используют базовые системы удобрений с возможностью мониторинга и корректировки питания на основе результатов прямого фотографирования и NDVI-анализа [20, 21]. Зарубежный программный продукт призван накапливать знания о сельскохозяйственном производстве, поэтому необходимо замещать его на отечественный аналог, учитывая лучший опыт учёных, работающих в данной сфере.

Цель исследования: дать оценку эффективности расчёта системы удобрений и вегетационных подкормок отдельных многолетних культур с использованием разработанной авторами полезной программы.

Материалы и методы исследования

В ходе исследований применялся метод расчёта потребности в удобрениях на основе выноса основных элементов питания растений с урожаем. При распределении внесения подкормок учитывали потребность растений в элементах питания. Дозы удобрений при внесении или подкормках рассчитывались с учётом доступности форм, а также в зависимости от реакции почвенного поглощающего комплекса. Учитывалось, что при удобрении в основную обработку почвы усваивается до 90 % д. в., фертигации – 50 % д. в., с некорневыми подкормками – 25 % д. в.

Для проведения расчёта системы удобрений ис-

пользовались данные почвенного анализа и диагностики в саду яблони на базе Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в период с 2007 по 2020 гг. Почвы представлены чернозёмами южными, мицелярно-карбонатными. В почвенных образцах в плантажном горизонте мощностью 60 см среднее содержание гумуса – 2,1 %, фосфора (по Мачигину) – 2,7 мг/кг, калия – 210 мг/кг, активных карбонатов – 21 %, рН почвенного раствора – 8,2. В период с 2007 по 2014 гг. опытные участки сада орошались, с 2014 г. сады, а также весь период исследований виноградные насаждения выращивались на суходоле.

Результаты почвенного анализа вводились в разработанную авторами компьютерную программу, содержащую базы данных по выносу элементов питания с урожаем, подбору видов удобрений, а также имеющую алгоритм расчёта потребности в дозах удобрений в зависимости от способа внесения.

Результаты и их обсуждение

Расчёт систем удобрений должен учитывать не только объём действующего вещества того или иного макро- и микроэлемента, но и форму удобрения, его взаимодействие с другими удобрениями, а также с почвенно-поглощающим комплексом [13]. Так, на щелочных почвах применяют удобрения физиологически кислые, а на кислых – физиологически щелочные. Для некорневых подкормок используют соединения с низкой фитотоксичностью.

Разработка вспомогательной программы для расчёта систем удобрений должна включать учёт выноса элементов питания растениями при контролируемой продуктивности насаждений и возможность мониторинга и вмешательства в систему удобрений [20, 21]. Для этого учитывается общее количество подвижных форм макро- и микроэлементов в почве и их оптимальные концентрации в растениях в зависимости от фазы развития.

В соответствии с законом ограничивающего фактора необходимо создать оптимальные концентрации подвижных элементов, которые растение получает из почвы. В первую очередь это азот, фосфор, калий, кальций, железо, сера и другие, доводя их концентрации не ниже среднего (табл. 1). Подобную оптимизацию для многолетних культур проводят перед их закладкой.

К примеру, на участке под учебно-опытным садом яблони Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в ходе проведения почвенного анализа было установлено содержание подвижного фосфора (по Мачигину) – 2,7 мг/кг почвы, а калия – 210 мг/кг почвы.

Таким образом, исходно калий находится в средней концентрации, а фосфор - на низком уровне обеспеченности, что требует его обязательного внесения. При нижнем пороге среднего содержания в почве фосфора, равному 15,1 мг/кг почвы необходимо повысить концентрацию этого элемента на $(15,1 - 2,7 = 12,4)$ мг/кг почвы.

Таблица 1. Уровни обеспеченности почв основными макро- и микроэлементами (по данным ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский»)**Table 1.** Levels of soil supply with basic macro- and microelements (according to the FSBI Center of Agrochemical Service «Krymsky»)

Уровень обеспеченности почвы	Гумус (по Тюрину), %	Гидролизуемый азот (по Тюрину-Кононовой), мг/кг.	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы			K ₂ O, мг/кг почвы			MgO, мг/кг почвы
			по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очень низкая	<2,0	<30,0	<25,0	<20,0	<10,0	<40,0	<20,0	<50,0	<30,0
Низкая	2,0...4,0	30,1...40,0	25,0...50,0	20,0...50,0	10,0...15,0	40,0...80,0	20,0...40,0	50,0...100,0	30,1...80,0
Средняя	4,1...6,0	40,1...50,0	50,1...100,0	50,1...100,0	15,1...30,0	80,1...120,0	40,1...80,0	100,1...200,0	80,1...120,0
Повышенная	6,1...8,0	50,1...70,0	100,1...150,0	100,1...150,0	30,1...45,0	120,1...170,0	80,1...120,0	200,1...300,0	120,1...170,0
Высокая	8,1...10,0	70,1...100,0	150,1...250,0	150,1...200,0	45,1...60,0	170,1...250,0	120,1...180,0	300,1...400,0	>170,0
Очень высокая	>10,0	>100,0	>250,0	>200,0	>60,0	>250,0	>180,0	>400,0	

Продолжение табл. 1.
Continuation of Table 1.

Уровень обеспеченности почвы	Микроэлементы, мг/кг почвы						Сера, мг/кг почвы	Железо, мг/кг почвы	Кальций (обменный), мг-экв/кг почвы
	Медь	Цинк	Марганец	Кобальт	Молибден	Бор			
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Очень низкая	<0,3	<0,2	<1,0	<0,2	<0,05	<0,1			<100,0
Низкая	0,3...1,5	0,1...1,0	1,0...10,0	0,2...1,0	0,05...0,15	0,1...0,2	<6,0	<20,0	100,0...200,0
Средняя	1,6...3,0	1,1...3,0	10,1...50,0	1,1...3,0	0,15...0,25	0,3...0,5	6,1...12,0	20,1...30,0	200,1...500,0
Повышенная	3,1*...7,0	3,1...5,0	50,1...100,0	3,1...5,0	0,25...0,50	0,6...0,7	12,1...18,0	30,1...250,0	500,1...800,0
Высокая	>7,0*	>5,0	>100,0	>5,0*	>0,50	>0,7	>18,0	>250,0	>800,0

Примечание. * - значения концентраций элементов в почве, превышающие санитарные нормы ПДК (в табл. 1: для Меди и Кобальта)

При плотности почвы 1,21 кг/л и глубине слоя 60 см можно рассчитать количество фосфора:

$$0,6 \text{ м} * 10000 \text{ м}^2/\text{га} * 1,21 \text{ кг/л} * 1000 \text{ л/м}^3 * 0,012 \text{ г/кг} = 87120 \text{ г} = 87,12 \text{ кг д. в. P}_2\text{O}_5/\text{га}.$$

С учётом того, что в почве высокая концентрация подвижного кальция, целесообразно в качестве основного удобрения вносить не простой суперфосфат, а двойной, с концентрацией P₂O₅ 42 % по д. в. При усвояемости соединений, применяемых под основную обработку почвы, равном 90 %, компьютерная система выдаст потребность суперфосфата двойного равное:

$$\frac{87,12 \text{ кг д. в.}}{42 \% \text{ д. в.} * 0,9 \text{ коэф. усвоения}} * 100 \% = 230,47 \text{ кг}.$$

Подобные расчёты программа проводит и по другим элементам, сводя их содержание в поле средних концентраций. Это решает первую главную задачу сельского хозяйства – обеспечить почвенное плодородие, а также оптимизировать режим питания растений на начальном этапе. Следует отметить, что настройки самой программы дают возможность осуществить расчёт потребности в основных удобрениях на любую

заданную глубину, однако основное ограничение в таком случае является сама глубина плантажированного слоя. При несоответствии нормы внесения удобрений и глубины обработки почвы могут изменяться концентрации содержания макроэлементов, что приведёт к сдвигу обменных функций почвенного поглощающего комплекса и нерациональную их потерю вследствие деградации подвижности и водорастворимости.

На этом этапе, проводя ежегодно перед основной обработкой почвы отбор образцов на анализ для определения содержания подвижных соединений с целью их оптимизации, можно вывести систему удобрений для участка. По уровню падения (уменьшения) концентраций возможно также определять вынос полезных веществ из почвы с хозяйственным урожаем и их деградацию с переходом в недоступное для растений состояние.

В начале определяется вынос элементов питания с хозяйственным урожаем (табл. 2). Исходные данные расчётные и в ходе дальнейшей работы программы должны корректироваться в зависимости от урожайности и биомассы растений.

Зная вынос элементов питания, можно определить

нормы годового внесения удобрений в зависимости от их формы, содержания действующих веществ, а также корректировать в зависимости от способов внесения. Как уже отмечалось, форма внесения удобрений должна учитывать доступность для растений и реакцию почвенной среды. Так, на щелочных почвах следует вносить физиологически кислые или нейтральные удобрения. В таком случае азот должен вноситься в виде сульфата аммония, мочевины или аммиачной селитры.

Фосфорное питание обеспечивается в виде ортофосфорной кислоты, а также её солями, не оказывающими влияние на засоление или увеличение щелочности почв после поглощения фосфора. Калий – в виде сульфата калия. Не поглощенный растениями остаток при этом выполняет роль химического мелиоранта, улучшающего в дальнейшем подвижность элементов питания при последующих турах подкормок.

Также допускается внесение комплексных удобрений, содержащих несколько необходимых макро- и микроэлементов, однако при этом нужно учитывать их сезонную потребность. К примеру, пока есть угроза повреждения заморозками, азотные соединения усиливают их действие. Поэтому, если необходимо внести для растений фосфорно-калийный комплекс, то применяют монокалийфосфат или раздельно сульфат калия и ортофосфорную кислоту. После прохождения такой угрозы вносят комплекс удобрений в виде нитрофоски, аммофоски или азофоски. В таком случае каждое удобрение рассчитывается по действующему веществу отдельного элемента. Количество удобрений, вносимых с поливной водой, корректируют с учётом степени усвоения 50 % от д. в.

Так, если для обеспечения фосфорного питания яблони необходимо внести 13,1 кг д. в. фосфора, а его планируется вводить исключительно в виде ортофосфорной кислоты (Ортофосфорная кислота ГОСТ (74 %) – P₂O₅ – 54 %) с поливной водой (фертигация), то годовая потребность в препарате составит:

$$\frac{13,1 \text{ кг д. в.} \cdot 100}{54 \% \text{ д. в.}} \cdot \frac{100}{50 \% \text{ усвоения}} = 48,52 \text{ кг/га.}$$

Необходимые для растений микроэлементы, если они могут вноситься в формах, которые могут быть поглощены почвенным поглощающим комплексом, вносят в виде некорневых подкормок.

Подобный подход считается ресурсным и обеспечивает стабильное поддержание почвенного плодородия и баланса элементов в почве и растениях. Однако он не в полной мере учитывает особенности взаимодействий удобрений с почвой с точки зрения их доступности для растений. Также не всегда обеспечивается потребность питательных веществ в критические для культур сроки, которые в сильной степени варьируют в зависимости от почвенных и погодных условий, а также особенностей развития растений или агротехники.

Некорневые подкормки являются способом оперативного изменения концентраций элементов питания в растениях, поскольку вводятся не в почву и не взаимодействуют с почвенным раствором, а попадают

Таблица 2. Расчёт выноса макроэлементов с хозяйственным урожаем (по д. в.) у основных плодовых культур и винограда [1, 7, 10, 14]

Table 2. Calculation of macroelements removal with commercial yield (according to a. s.) of basic fruit crops and grapes [1, 7, 10, 14]

Культура	Элемент	Вынос элементов (г/1 ц урожая)	Урожайность, ц/га	Вынос элементов (д. в. кг/га)
Яблоня	N	108,7	450	48,9
	P ₂ O ₅	29,1	450	13,1
	K ₂ O	116,3	450	52,3
Груша	N	153	320	49,0
	P ₂ O ₅	36,9	320	11,8
	K ₂ O	172,1	320	55,1
Персик	N	363,4	250	90,9
	P ₂ O ₅	130,1	250	32,5
	K ₂ O	350,5	250	87,6
Слива	N	353,3	280	98,9
	P ₂ O ₅	103,5	280	29,0
	K ₂ O	441,6	280	123,6
Виноград	N	986,8	60	59,2
	P ₂ O ₅	327,0	60	19,6
	K ₂ O	678,3	60	40,7

сразу к листьям, плодам и молодым побегам.

Для контроля концентраций элементов питания в отдельные периоды необходимо проводить листовую диагностику, выполняя сравнительный анализ с оптимальными параметрами для каждого из элементов (табл. 3). Анализ должен быть количественный, поскольку только этот тип листовой диагностики позволяет точно установить реальную концентрацию каждого из искомых веществ.

На основе проведённого анализа выполняется сравнение между фактически полученными значениями и оптимальными критериями. Если в листьях отдельный искомый элемент имеет концентрацию меньше оптимального значения, следует осуществить его внесение.

Некорневые подкормки имеют ряд существенных ограничений: коэффициент использования самих удобрений не превышает 25 % и при выборе формы препаратов должен быть близким к физиологически нейтральному, а суммарный ЕС (электропроводимость) раствора не превышать 1,2 мСм (мили Сименс), иначе может наблюдаться ожог листьев [3, 7].

Дозы вносимых с некорневыми подкормками удобрений рассчитываются на биомассу растений, которая для плодовых культур находится в пределах коэффициента 3,0 от урожая.

К примеру, по данным листовой диагностики концентрация железа в листьях составляет 25 мг/кг. Для повышения концентрации этого элемента до порога оптимальных 50 мг/кг необходимо внести препарат по д. в.:

Таблица 3. Оптимальные концентрации макро- и микроэлементов в листьях яблони в зависимости от фенологических фаз развития растений (по Церлинг В.В.) [22]**Table 3.** Optimal concentrations of macro- and microelements in apple leaves depending on the phenological stage of plant development (according to Zerling V.V.) [22]

Фенофаза развития	Азот	Фосфор	Калий	Кальций	Магний	Железо	Бор	Медь	Марганец	Молибден	Цинк
	В % от сырой массы листьев					В мг/кг сухого веса листьев					
Распускание листьев (1-й год плодоношения)	4,2-4,6	0,29-0,32	1,4-1,6	1,0-1,8	0,24-0,30	50-250	20-50	5,3	35-105	0,1	43
Распустившиеся листья (1-й год плодоношения)	2,2-2,7	0,29-0,32	1,4-1,6	1,0-1,8	0,24-0,30	50-250	20-50	5,3	35-105	0,1	43
Цветение (1-й год плодоношения)	2,7-3,1	0,17-0,22	1,4-1,6	1,0-1,8	0,24-0,30	50-250	20-50	5,3	35-105	0,1	43
Цветение (2-й год плодоношения)	2,1-2,4	0,20-0,31	1,4-1,6	1,0-1,8	0,24-0,30	50-250	20-50	5,3	35-105	0,1	43
Окончание роста побегов (возраст насаждений 15-25 лет)	2,1-2,4	0,17-0,22	1,4-1,6	1,0-1,8	0,4-0,6	50-250	20-50	5,3	25-140	0,1	43
Налив плодов	2,2	0,22	1,4-1,6	1,5-2,0	0,4-0,6	50-250	20-50	5,3	20-200	0,1	25-55
Перед листопадом	1,7	0,17	1,4-1,6	0,05	0,4-0,6	50-250	20-50	5,3	20-200	0,1	25-55

$$N = \frac{(K_{\text{опт}} - K_{\text{факт}}) * (У * \text{Коэф. биом} * 100) * ((100 - Вл) / 100)}{1000000},$$

где N – норма д. в. для внесения в виде некорневых подкормок;

$K_{\text{опт}}$ – оптимальный уровень концентрации элемента, мг/кг;

$K_{\text{факт}}$ – фактический уровень концентрации элемента, мг/кг;

У – урожайность, ц/га;

Коэф. биом – соотношение биомассы растений с хозяйственной урожайностью;

Вл. – влажность листьев, %.

Подставляя уже известные параметры в формулу, а также учитывая, что влажность листьев на момент проведения исследований равнялась 87 %, необходимо внести 0,44 кг железа по д. в. для повышения концентрации в листьях до оптимального значения.

Такой подход выполняется для всех необходимых растению элементов питания и позволяет поддерживать их в оптимальных параметрах, что обеспечит контролируемый рост и развитие насаждений.

В итоге компьютерная программа автоматически составляет систему удобрений на основе детального расчёта и с учётом потребностей отдельных культур (табл. 4).

Расчёт выполнен разработанными авторами статьи автоматической компьютерной программой с учётом изложенного выше исходного материала. На основе программы можно осуществлять расчёты систем, норм удобрений и определять их потребность в течении сезона. Мониторинг концентраций элементов питания позволяет создать базу, обеспечивая расчёт потребности в удобрениях в дальнейшем.

Выводы

Расчёт систем удобрений для многолетних насаждений на основе разработанной авторами компьютерной программы включает три основных этапа: доведение содержания основных макро- и микроэлементов до оптимальных значений, компенсацию вы-

Таблица 4. Рекомендуемая система удобрений плодоносящих насаждений яблони с урожайностью 45 т/га. Данные почвенного анализа учебно-опытного сада яблони (с. Аграрное, Институт «Агротехнологическая академия»), формируемые разработанной программой

Table 4. Recommended fertilizing system for fruit-bearing apple plantings with cropping capacity of 45 t/ha. Soil analysis data of educational- experimental apple orchard (village Agraroye, Institute “Agrotechnological Academy”), developed by the author program

Фертигация плодоносящей яблони 45 т/га							
удобрение	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Fe-ЭДТА, кг, почв			3,76				
KNO ₃ , т					0,1		
Фосфорная кислота, кг			30	30	20	10	
Азотная кислота, кг							6
Сульфат аммония, т			0,3	0,2			
аммофос, т		0,1					
K ₂ SO ₄ , т		0,2				0,1	
Эмбионик л			30	60			
Листовые удобрения плодоносящей яблони 45 т/га							
мочевина, кг	8	8	4				60
Zn-ЭДТА, кг	1						0,5
Ca(NO ₃) ₂			7	14	21		
Fe-ЭДТА, кг, лист				3,38		3,38	
Вуксал комплекс, л			2	3			
MgSO ₄ , кг	8	8					
интерм. В, кг	1						1,5
x.Mn, кг			1	1			

носа элементов с заданным урожаем и корректировку подобранной системы с применением мониторинга концентраций питательных веществ листовой диагностикой. Данный подход обеспечивает достаточное содержание доступных для растений элементов питания, поддерживает и повышает почвенное плодородие.

Программа по расчёту системы удобрений учитывает в качестве мелиоративных внесений удобрений слой почвы, обрабатываемый при плантажной обработке почвы, а в системе подкормок – вынос макро- и микроудобрений с прогнозируемым урожаем и соответственного количества биомассы, сопутствующей производимой растениями.

Корректировка фактического внесения удобрений в виде подкормок в зависимости от результатов листовой диагностики позволит определить особенности удобрения каждого отдельного участка в зависимости от особенностей почвы и объёмов производимой продукции.

Источник финансирования

Не указан.

Financing source

Not specified.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы

- Магомедов М.Г. Виноградарство и виноделие, виноград и вино Дагестана. Махачкала: Дагестанское книжное издательство. 2018:1-408.
- Имашова С.Н., Айтемиров А.А., Теймуров С.А. Концепция экологизации земледелия в современном мире // Известия Дагестанского ГАУ. 2020;1(5):27-31.
- Singh S., Mohanty S., Pattnaik P.K. Agriculture fertilizer recommendation system. Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Computing and Cyber Security. 2022;395:156-172. DOI 10.1007/978-981-16-9480-6_15.
- Mushtaq R., Nayik G., Malik A.R. Apples: preharvest and postharvest technology. CRC Press. 2022:1-346. DOI 10.1201/9781003239925.
- Абдулнатилов М.Г. Влияние способов внесения минеральных удобрений на рост и развитие растений // Известия Дагестанского ГАУ. 2019;4(4):65-67.
- Subramanian K.S. Design and implementation of fertilizer recommendation system for farmers. Test Engineering and Management. 2020;83:8840-8849.
- Аббасова Г.Ф. Влияние удобрений на вынос из почвы питательных элементов с урожаем винограда и сухим материалом // Бюллетень науки и практики. 2021;7(7):68-72. DOI 10.33619/2414-2948/68/09.
- Копитко П.Г., Слюсаренко В.С. Продуктивність груші за оптимізованого удобрення та позакореневого підживлення. Таврійський науковий вісник. 2019;107:52-60. DOI 10.32851/2226-0099.2019.107.7.
- Федорова Т.Ю., Яковенко Р.В. Дослідження з ґрунтового удобрення та позакореневого підживлення в насадженні груші // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2021;98(1):163-172. DOI 10.31395/2415-8240-2021-98-1-163-172.
- Havlin J., Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. Soil fertility and fertilizers – an introduction to nutrient management. 2023:1-528.
- Ganeshamurthy A., Singh R.D., Shashidhar K.S., Rupa T.R. Fertilizer best management practices for perennial horticultural crops. Indian Journal of Fertilizers. 2019;15(10):1136-1150.
- Srivastava A., Wu Q.-S., Mousavi S., Hota D. Integrated soil fertility management in fruit crops. International Journal of Fruit Science. 2021;21(1):1895034. DOI 10.1080/15538362.2021.1895034.
- Jariwala H., Haque F., Vanderburgt S., Santos R., Chiang Y.W. Mineral–Soil–Plant–Nutrient synergisms of enhanced weathering for agriculture: short-term investigations using fast-weathering wollastonite skarn. Frontiers in Plant Science. 2022;13:929457. DOI 10.3389/fpls.2022.929457.
- Фоменко Т.Г., Попова В.П. Фертигация плодовых насаждений. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ. 2018:1-51.
- Pavlovskaya E., Zakharova A., Titarev D. Algorithm for calculating doses of mineral fertilizers based on linear optimization Model. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022;245:371-381. DOI 10.1007/978-981-16-3349-2_31.
- Sala F., Boldea M., Rawashdeh H., Nemet I. Mathematical model for determining the optimal doses of mineral fertilizers for wheat crops. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 2015;52(3):609-617.
- Кузин А.И., Кушнер А.В., Шмакова А.А. Влияние типа почвы на урожайность и содержание элементов питания в листьях яблони при фертигации // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023;79(1):171-185. DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-171-185.
- Khan A.A., Faheem M., Bashir R., Wechtaisong C., Abbas M. Internet of things (IoT) assisted context aware fertilizer recommendation. IEEE Access. 2022;12:1-1. DOI 10.1109/ACCESS.2022.3228160.
- Swaminathan B., Palani S., Kotecha K., Kumar V., Subramaniam V. IoT driven artificial intelligence technique for fertilizer recommendation model. IEEE Consumer Electronics Magazine. 2022;01:1-1. DOI 10.1109/MCE.2022.3151325.
- Jayashree D., Pandithurai O., Rani L., Menon P., Beria M., Nithyalakshmi S. Fertilizer recommendation system using machine learning. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2022;905:709-716. DOI 10.1007/978-981-19-2177-3_66.
- Raviraja S., Raghavender K V, Sunagar P., Ragavapriya R.K., Kumar M, Bharath V G. Machine learning based mobile applications for autonomous fertilizer suggestion. International Conference on Inventive Research in Computing Applications. 2022;4:868-874. DOI 10.1109/ICIRCA54612.2022.9985721.
- Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. Москва: Агропромиздат. 1990:1-235.

References

- Magomedov M.G. Viticulture and winemaking, grapes and wine of Dagestan. Makhachkala: Dagestan Book Publishing House. 2018:1-408 (in Russian).
- Imashova S.N., Aitemirov A.A., Teymurov S.A. Concept of ecologization of agriculture in the modern world. Dagestan SAU Proceedings. 2020;1(5):27-31 (in Russian).
- Singh S., Mohanty S., Pattnaik P.K. Agriculture fertilizer recommendation system. Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Computing and Cyber Security. 2022;395:156-172. DOI 10.1007/978-981-16-9480-6_15.
- Mushtaq R., Nayik G., Malik A.R. Apples: preharvest and postharvest technology. CRC Press. 2022:1-346. DOI 10.1201/9781003239925.
- Abdulatipov M.G. Influence of methods for mineral fertilizers

- application on growth and development of plants. Dagestan SAU Proceedings. 2019;4(4):65-67 (in Russian).
6. Subramanian K.S. Design and implementation of fertilizer recommendation system for farmers. Test Engineering and Management. 2020;83:8840-8849.
 7. Abbasova G. Effects of fertilizers on ground products and drying material transportation of nutrition from the soil. Bulletin of Science and Practice. 2021;7(7):68-72. DOI 10.33619/2414-2948/68/09 (in Russian).
 8. Копытко P.G., Slyusarenko V.S. Pear productivity with optimized fertilizer and foliar feeding. Taurian Scientific Herald. 2019;107:52-60. DOI 10.32851/2226-0099.2019.107.7 (in Ukrainian).
 9. Fedorova T., Yakovenko R. Researches of soil fertilization and top dressing in pear orchards. Collected Works of Uman National University of Horticulture. 2021;98(1):163-172. DOI 10.31395/2415-8240-2021-98-1-163-172 (in Ukrainian).
 10. Havlin J., Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. Soil fertility and fertilizers – an introduction to nutrient management. 2023:1-528.
 11. Ganeshamurthy A., Singh R.D, Shashidhar K.S., Rupa T.R. Fertilizer best management practices for perennial horticultural crops. Indian Journal of Fertilizers. 2019;15(10):1136-1150.
 12. Srivastava A., Wu Q.-S., Mousavi S., Hota D. Integrated soil fertility management in fruit crops. International Journal of Fruit Science. 2021;21(1):1895034. DOI 10.1080/15538362.2021.1895034.
 13. Jariwala H., Haque F., Vanderburgt S., Santos R., Chiang Y.W. Mineral-Soil-Plant-Nutrient synergisms of enhanced weathering for agriculture: short-term investigations using fast-weathering wollastonite skarn. Frontiers in Plant Science. 2022;13:929457. DOI 10.3389/fpls.2022.929457.
 14. Fomenko T.G., Popova V.P. Fertigation of fruit plantations. Krasnodar: FSBSI NCF SCHVW. 2018:1-51 (in Russian).
 15. Pavlovskaya E., Zakharova A., Titarev D. Algorithm for calculating doses of mineral fertilizers based on linear optimization model. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022;245:371-381. DOI 10.1007/978-981-16-3349-2_31.
 16. Sala F., Boldea M., Rawashdeh H., Nemet I. Mathematical model for determining the optimal doses of mineral fertilizers for wheat crops. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 2015;52(3):609-617.
 17. Kuzin A.I., Kushner A.V., Shmakova A.A. The influence of soil type on yield capacity and nutrition content in apple leaves during fertigation. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2023;79(1):171-185. DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-171-185 (in Russian).
 18. Khan A.A., Faheem M., Bashir R., Wechtaisong C., Abbas M. Internet of things (IoT) assisted context aware fertilizer recommendation. IEEE Access. 2022;12:1-1. DOI 10.1109/ACCESS.2022.3228160.
 19. Swaminathan B., Palani S., Kotecha K., Kumar V., Subramaniaswamy V. IoT driven artificial intelligence technique for fertilizer recommendation model. IEEE Consumer Electronics Magazine. 2022;01:1-1. DOI 10.1109/MCE.2022.3151325.
 20. Jayashree D., Pandithurai O., Rani L., Menon P., Beria M., Nithyalakshmi S. Fertilizer recommendation system using machine learning. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2022;905:709-716. DOI 10.1007/978-981-19-2177-3_66.
 21. Raviraja S., Raghavender K V, Sunagar P., Ragavapriya R.K., Kumar M, Bharath V G. Machine learning based mobile applications for autonomous fertilizer suggestion. International Conference on Inventive Research in Computing Applications. 2022;4:868-874. DOI 10.1109/ICIRCA54612.2022.9985721.
 22. Zerling V.V. Diagnostics of nutrition of agricultural crops. Moscow: Agropromizdat, 1990:1-235 (in Russian).

Информация об авторах

Дмитрий Валериевич Потанин, канд. с.-х. наук, доцент кафедры плодовоощеводства и виноградарства; e-мейл: potanin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

Маргарита Игоревна Иванова, канд. с.-х. наук, начальник отдела организации учета применения средств химизации и разработки проектно-сметной документации; e-мейл: imi_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

Information about authors

Dmitry V. Potanin, Cand. Agric. Sci., Associate Professor, Department of Horticulture and Viticulture; e-mail: potanin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

Margarita I. Ivanova, Cand. Agric. Sci., Head of the Department for Organization of Accounting for the Use of Chemicals and Development of Design and Estimate Documentation; e-mail: imi_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

Статья поступила в редакцию 09.03.2023, одобрена после рецензии 04.05.2023, принята к публикации 25.05.2023.