



ВЛИЯНИЕ ФЕРТИГАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ СЕРОЗЕМОВ, РОСТ, РАЗВИТИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ГРЕЦКОГО ОРЕХА В УСЛОВИЯХ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Ортиков Т. К. ORCID ID 0009-0003-1370-3469,

Усмонов Р. С. ORCID ID 0009-0007-1146-3720

*Институт агробиотехнологий и продовольственной безопасности
Самаркандского государственного университета, Самарканд,
Республика Узбекистан, e-mail: ortikovt@mail.ru*

В статье представлены результаты комплексного полевого исследования, направленного на оценку влияния минеральных удобрений, применяемых методом фертигации, на питательный режим сероземных почв, рост, развитие и урожайность грецкого ореха (*Juglans regia* L.) в условиях интенсивного садоводства Зеравшанской долины Узбекистана. Актуальность работы обусловлена необходимостью научно обоснованного применения удобрений при капельном орошении, что позволяет повысить эффективность использования воды и элементов питания, а также снизить экологические риски, связанные с их избыточным внесением. Экспериментальные исследования проводились в интенсивном ореховом саду сорта Chandler на сероземных почвах Самаркандской области. В опыте изучались различные нормы полного минерального удобрения (NPK) в диапазоне от N75P57K38 до N250P185K125 на фоне капельного орошения, а также контроль без удобрений. Установлено, что фертигация водорастворимыми формами азотных, фосфорных и калийных удобрений способствует значительному увеличению содержания подвижных форм элементов питания во всех исследованных почвенных горизонтах (0–30, 30–60 и 60–90 см). Наиболее выраженный эффект отмечен при норме N150P115K75, дальнейшее повышение доз не обеспечивало пропорционального роста показателей. Улучшение питательного режима почвы положительно отразилось на биометрических показателях деревьев и урожайности культуры. Средняя урожайность за 3 года возросла с 17,38 ц/га на контроле до 86,84–89,38 ц/га при фертигации. Норма N150P115K75 признана наиболее агрономически и экономически обоснованной.

Ключевые слова: минеральные удобрения, фертигация, почва, питательный режим, урожайность, грецкий орех

INFLUENCE OF FERTIGATION WITH MINERAL FERTILIZERS ON THE NUTRITIONAL REGIME OF SERIOZEMS, GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF WALNUT IN THE CONDITIONS OF THE ZERAVSHAN VALLEY OF UZBEKISTAN

Ortikov T. K. ORCID ID 0009-0003-1370-3469,

Usmonov R. S. ORCID ID 0009-0007-1146-3720

*Institute of Agro-Biotechnology and Food Security, Samarkand State University,
Samarkand, Republic of Uzbekistan, e-mail: ortikovt@mail.ru*

This article presents the results of a comprehensive field study aimed at assessing the effects of mineral fertilizers applied through fertigation on the nutrient regime of sierozem soils, as well as on the growth, development, and yield of walnut (*Juglans regia* L.) under intensive orchard conditions in the Zeravshan Valley of Uzbekistan. The relevance of the research is determined by the need for scientifically substantiated fertilizer management under drip irrigation, which allows improving water and nutrient use efficiency while reducing negative environmental impacts associated with excessive fertilizer application. Experimental studies were conducted in an intensive walnut orchard of the Chandler cultivar established on sierozem soils of the Samarkand region. The experiment evaluated different rates of complete mineral fertilizers (NPK) ranging from N75P57K38 to N250P185K125 under drip irrigation, along with an unfertilized control. The results showed that fertigation with water-soluble nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers significantly increased the content of available nutrient forms (ammonium and nitrate nitrogen, available phosphorus, and exchangeable potassium) in all studied soil layers (0–30, 30–60, and 60–90 cm). The most pronounced effect was observed at fertilizer rates up to N150P115K75, while further increases did not result in a proportional rise in nutrient content. Improved soil nutrient status positively affected tree biometric parameters, fruit number, individual nut weight, and overall yield. Over three years, average walnut yield increased from 17.38 c ha⁻¹ in the control to 86.84–89.38 c ha⁻¹ under fertigation. The N150P115K75 rate was identified as the most agronomically and economically optimal.

Keywords: mineral fertilizers, fertigation, soil, nutrient regime, yield, walnut

Введение

Питание растений оказывает большое влияние на рост, развитие плодовых культур и увеличение и сохранение урожая. На качество плодов грецкого ореха большое влияние оказывает содержание подвижных

форм азота, фосфора и калия [1], железа, меди и цинка [1; 2], так как при повышении содержания подвижных форм питательных веществ в почве увеличивается содержание этих веществ в листьях растений [2; 3], где происходит образование сложных ме-

таболитов в зависимости от их концентрации [4]. Это положительно влияет на рост, развитие, урожайность плодовых культур, в том числе грецкого ореха [5–7]. Поэтому повышение содержания подвижных питательных веществ в почве имеет большое значение в питании растений, в формировании и качестве урожая сельскохозяйственных культур. Для увеличения содержания подвижных питательных веществ в почве обычно применяются минеральные и органические удобрения [8–10]. Но применение минеральных удобрений в высоких дозах и не обоснованными научно методами приводит к нежелательным последствиям [11–13], таким как увеличение их потери, снижение коэффициента использования питательных веществ из удобрений и снижение качества продукции, а также загрязнение атмосферного воздуха окислами азота, водоемов нитратами, почвы – тяжелыми металлами и т. д. В последнее время в интенсивных садах, где выращиваются карликовые и полукарликовые плодовые культуры, в том числе и грецкого ореха, широко применяется капельное орошение и фертигация, что способствует эффективному использованию воды и удобрений [14–16]. Эффективное использование удобрений при фертигации в интенсивном садоводстве приводит к усилению питания, роста и развития растений и впоследствии к получению высокого урожая [17–19]. Но при этом большое значение имеет правильное установление нормы, дозы, сроков внесения минеральных удобрений [20]. Поэтому изучение этих вопросов при возделывании грецкого ореха в интенсивном садоводстве в условиях сероземов Зеравшанской долины Узбекистана является актуальным.

Цель исследования – установление влияния применения минеральных удобрений в условиях капельного орошения, то есть фертигации, на питательный режим сероземов, а также рост, развитие и урожайность грецкого ореха в условиях Зеравшанской долины Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводились (табл. 1) на сероземах в интенсивных садах ООО «САГ

АГРО» Джамбайского района Самаркандской области. До посадки грецкого ореха эти земли были условно орошаемые. Рельеф холмистый. Сорт грецкого ореха – Chandler, схема посадки – 7х6 м. Густота стояния – 238 деревьев на 1 га. Содержание гумуса в слое 0–30 см было 0,94 %, валовых форм азота, фосфора и калия – 0,11; 0,18; 2,54 % соответственно, аммонийного азота – 12,4 мг/кг, нитратного азота – 13,1 мг/кг, подвижного фосфора – 12,5 мг/кг, обменного калия – 170 мг/кг. Реакция почвенной среды (рН) – 7,4, слабощелочная. Почва незасоленная.

В опыте изучалась норма азотных, фосфорных и калийных удобрений. Норма этих минеральных удобрений дана в действующих веществах, в пересчете на элемент азота, оксида фосфора V, оксида калия. Азот вносился при фертигации в форме карбамида, фосфор – моноаммония фосфата (МАП), калий – сульфата калия.

Опыт: вариантов 6, повторение – 4, количество делянок – 24 шт. Каждая делянка: рядов деревьев – 6, в одном ряду имеются 7 деревьев, из них внутренние 4 ряда являются учетными, крайние ряды были защитными. Ширина делянок 42 м, длина делянок – 42 м, общая площадь делянки 1764 м², из них 882 м² учетная.

В учетных рядах были выделены модельные деревья для проведения биометрических измерений и фенологических наблюдений. Урожайность грецкого ореха определялась сбором всех спелых орехов с учетной площади делянки. Потом урожай грецкого ореха пересчитывали на 1 га.

Образцы брали с трех слоев почвы: 0–30 см (пахотный слой), 30–60 и 60–90 см, с учетом развития корневой системы грецкого ореха. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина, валовых форм азота, фосфора и калия – по Мальцевой – Гриценко, аммонийного азота – с помощью реактива Несслера на спектрофотометре, нитратного азота – по Грандвальд – Ляжу на спектрофотометре, минерального азота – путем сложения количества аммонийного и нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия в одной навеске по Мачигину – Протасову, рН – потенциметрически на рН-метре [21; 22].

Таблица 1

Схема опыта

п/н	Варианты опыта	п/н	Варианты опыта
1	Без внесения удобрений (контроль)	4	N150P115K75
2	N75P57K38	5	N200P150K100
3	N100P75K50	6	N250P185K125

Полученные данные были статистически обработаны путем дисперсионного анализа, приведенного в книге Б. А. Доспехова «Методика полевого опыта» (1985) [23]. При этом как основные показатели статистической обработки определены наименьшая существенная разница (НСР, при 95 % достоверности) между показателями вариантов опыта, а также точность опыта (S_x %, %).

Результаты исследования и их обсуждение

Внесение азотных удобрений при фертигации способствовало увеличению аммонийного и нитратного азота не только в верхнем слое, но и в нижележащих слоях, то есть в 30–60 и 60–90 см слоях почвы по сравнению с контролем. Такая тенденция наблюдалась по всем годам исследования. Увеличение нормы азота удобрений до 150 кг/га существенно увеличивало содержание и нитратного, и аммонийного азота. Но при увеличении нормы азота с 150 мг/кг до 200 кг/га, особенно до 250 кг/га при фертигации содержание аммонийного и нитратного азота повышалось незна-

чительно. Следовательно, азотные удобрения при внесении вместе с капельным орошением под ореховый сад на сероземах существенно увеличивает содержание минерального азота в нормах 75–150 кг/га в д. в., дальнейшее увеличение нормы минеральных удобрений существенно не повышает этот показатель почвы. Так, например, если на контроле без внесения удобрений содержание минерального азота в 0–30 см слое 1 мая было 29,3 мг/кг, 1 июня 31,8 мг/кг, то на вариантах N75P57K38, N100P75K50, N150P115K75 1 мая составило 38,1; 41,3; 47,3 мг/кг, 1 июня – 40,7; 44,4; 52,2 мг/кг соответственно. А в вариантах N200P150K100 и N250P185K125 – 1 мая 49,2 и 50,9 мг/кг, 1 июня – 53,6 и 55,0 мг/кг (табл. 2).

Полученные данные показывают, что в варианте без внесения удобрений (контроль) содержание подвижных питательных веществ в почве на очень низком уровне. Такая тенденция наблюдается в течение всей вегетации грецкого ореха, что отрицательно действует на рост, развитие, формирование плодов и накопление урожая грецкого ореха.

Таблица 2

Влияние удобрений при капельном орошении на содержание минерального азота ($N-NH_4 + N-NO_3$) в почве, мг/кг, 2022 г.

п/н	Варианты опыта	Горизонты почвы, см	Даты анализа почв					
			1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09
1	Контроль (без удобрений)	0–30	28,3	29,3	31,8	32,3	31,4	30,5
		30–60	19,1	20,5	23,6	24,1	23,3	22,0
		60–90	13,9	15,2	16,1	16,5	16,1	14,2
2	N75P57K38	0–30	28,7	38,1	40,7	41,4	38,7	35,8
		30–60	19,5	28,2	29,6	30,8	29,3	26,1
		60–90	14,7	18,2	19,1	20,2	18,7	16,5
3	N100P75K50	0–30	29,0	41,3	44,4	45,4	42,8	39,5
		30–60	19,0	32,0	34,2	35,7	33,8	28,4
		60–90	15,0	19,7	20,5	21,5	20,9	17,9
4	N150P115K75	0–30	27,7	47,3	52,2	53,1	48,2	43,8
		30–60	18,5	35,6	38,8	39,7	36,9	31,1
		60–90	14,5	21,6	22,7	23,4	21,9	19,9
5	N200P150K100	0–30	28,4	49,2	53,6	54,3	49,2	44,5
		30–60	18,6	36,9	39,6	40,4	38,0	31,6
		60–90	15,1	22,4	23,4	24,0	22,3	20,3
6	N250P185K125	0–30	29,5	50,9	55,0	55,5	50,8	45,5
		30–60	19,1	38,2	40,6	41,4	38,6	32,3
		60–90	14,6	23,2	24,1	24,5	23,0	20,9

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Но в начале весны со временем количество подвижных питательных веществ, в том числе аммонийного и нитратного азота, увеличивалось, что связано с активизацией процессов аммонификации и нитрификации. Кроме того, ризосфера плодовых культур, в том числе грецкого ореха, положительно действует на численность микроорганизмов и микробиологические процессы почвы, что связано с корневыми выделениями деревьев. С применением минеральных удобрений существенно увеличивается содержание аммонийного и нитратного азота по сравнению с контролем. Увеличение содержания минерального азота при внесении минеральных удобрений при фертигации наблюдалось во всех исследованных горизонтах почвы. При этом эффект более значимый, чем при обычном внесении азотных удобрений. Так как при фертигации почти не наблюдается инфильтрационный ток воды и вымывание азота орошаемой водой.

При внесении азотных удобрений вместе с капельным орошением было отмечено высокое содержание аммонийного азота в почве по сравнению с содержанием нитратного азота. Это, по-видимому, связано с высоким содержанием влаги, особенно в верхнем слое почвы, и удержанием влаги в почве более длительно по сравнению с традиционным способом полива, то есть бороздовым поливом. При таких условиях снижается скорость и активность нитрификации в почве, что препятствует в определенной степени переходу аммония удобрений и почвы в нитраты, уменьшает потери азота почвы и удобрений и повышает коэффициент использования азота из почвы и удобрений. Особенно большое значение это имеет в сероземах на лессовых отложениях, где гранулометрический состав более тяжелый, что легко создает условия для денитрификации нитратов при капельном орошении. Нахождение азота в форме аммония не дает возможности этим процессам. Тем более что при слабощелочных реакциях почвы аммонийный азот используется растениями лучше, чем нитратный, что положительно действует на азотное питание растений. Повышение нормы азотных, фосфорных и калийных удобрений способствовало возрастанию количества минерального азота. Но с последующим повышением нормы азота удобрений увеличение содержания подвижного азота было меньше, чем в предыдущем случае.

Внесение минеральных удобрений, в том числе фосфорных, значительно увеличивает содержание подвижного фосфора в сероземах Зеравшанской долины при возделывании грецкого ореха. Так, например, если в контроле содержание

подвижного фосфора 1 мая 2022 г. было 13,4 мг/кг, 1 июня – 14,6 мг/кг, а при внесении N75P57K38 – 17,6 и 18,2 мг/кг, в варианте N150P115K75 – 21,7 и 22,5 мг/кг, в варианте N200P150K100 – 22,2 и 23,1 мг/кг, в варианте N250P185K125 – 23,1 и 23,6 мг/кг (табл. 3). Следовательно, с увеличением нормы фосфора удобрения на фоне повышения дозы азотных и калийных удобрений возрастает содержание подвижного фосфора во всех горизонтах почвы, особенно в верхнем слое эта тенденция наблюдалась более заметно. С увеличением нормы фосфора с 115 кг/га до 150 и 185 кг/га на возрастающем фоне азотных и калийных удобрений содержание подвижного фосфора увеличивалось несущественно. Увеличение содержания подвижного фосфора в сероземных почвах при выращивании грецкого ореха наблюдается во всех исследованных горизонтах – 0–30; 30–60; 60–90 см. То есть наблюдается продвижение растворенного фосфора в почвенном слое в нижележащие горизонты при капельном орошении. Таким образом, применение водорастворимых форм фосфорсодержащих удобрений при капельном орошении грецкого ореха, то есть при фертигации существенно увеличивает содержание подвижного фосфора в почве и тем самым улучшает ее фосфатный режим и фосфорное питание деревьев грецкого ореха.

Применение полного состава минеральных удобрений, включающих и калийные, способствовало повышению содержания подвижного калия, включающих как водорастворимый, так и обменный калий, по сравнению с контрольным вариантом. Повышение нормы калийных удобрений с 38 кг/га в д. в. до 75 кг/га в составе полных минеральных удобрений существенно увеличивало содержание подвижного калия в почве. При увеличении нормы калийных удобрений на фоне увеличения дозы минеральных удобрений с 75 кг/га до 100 и 125 кг/га не привело к существенному увеличению количества подвижного калия.

Так, например, если содержание подвижного калия в контроле 1 мая 2022 г. в 0–30 см слое почвы было 200 мг/кг, 1 июня – 220 мг/кг, то в варианте N75P57K38 – 260 и 270 мг/кг соответственно, в варианте N100P75K50 – 280 и 290 мг/кг, в варианте N150P115K75 – 300 и 320 мг/кг, N200P150K100 – 310 и 320 мг/кг, в варианте N250P185K125 – 320 и 330 мг/кг соответственно. Следовательно, калийные удобрения в составе полных минеральных удобрений при фертигации при выращивании грецкого ореха существенно увеличивают содержание подвижного калия, и при этом оптимальной нормой калийного удобрения было 75 кг/га.

Таблица 3

Влияние удобрений при капельном орошении на содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве, мг/кг, 2022 г.

п/н	Варианты опыта	Горизонты почвы, см	Даты анализа почв					
			1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09
1	Контроль (без удобрений)	0–30	12,8	13,4	14,6	15,2	13,6	13,1
		30–60	9,6	10,2	10,5	10,8	10,0	9,6
		60–90	7,5	7,8	8,1	8,4	8,1	7,8
2	N75P57K38	0–30	12,5	17,6	18,2	19,0	18,1	17,5
		30–60	9,4	11,6	11,9	12,6	11,8	11,2
		60–90	7,3	9,5	9,7	10,1	9,6	9,1
3	N100P75K50	0–30	12,3	19,5	20,1	21,0	20,3	18,6
		30–60	9,6	12,7	13,0	13,8	13,0	12,2
		60–90	7,0	10,1	10,4	10,6	10,2	9,8
4	N150P115K75	0–30	12,7	21,7	22,5	23,2	22,5	20,2
		30–60	9,4	14,2	15,8	16,5	15,3	13,4
		60–90	7,5	10,6	11,1	11,7	11,2	10,8
5	N200P150K100	0–30	13,0	22,2	23,1	24,1	23,1	21,1
		30–60	9,4	14,9	15,8	16,9	15,9	13,6
		60–90	7,2	11,0	11,4	11,9	11,5	11,0
6	N250P185K125	0–30	12,5	23,1	23,6	24,7	23,6	21,6
		30–60	9,0	15,6	16,0	17,1	16,3	14,0
		60–90	7,3	11,3	11,5	12,2	11,7	11,2

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таким образом, как показывают результаты наших опытов, применение водорастворимых форм минеральных удобрений в полном составе существенно увеличивает содержание подвижных форм питательных веществ – аммония, нитратов, подвижного фосфора и калия, что улучшает питательный режим почвы и питание растений грецкого ореха. Это положительно действует на рост, развитие и урожайность грецкого ореха, возделываемого в рамках интенсивного садоводства. При внесении удобрений путем фертигации в саду грецкого ореха на сероземах увеличивалось количество плодов на одном дереве грецкого ореха. Применение минеральных удобрений путем фертигации положительно действовало не только на количество плодов, но и на массу одного плода грецкого ореха. На контроле без внесения минеральных удобрений, где деревья грецкого ореха питаются только за счет естественных питательных веществ почвы, очень медленно образовались и формировались плоды грецкого ореха. Поэтому в контроле, без удобрений, количество плодов и масса одного плода грецкого ореха были наименьшими, что приводит к низкой урожайности грецкого ореха. Это говорит о том, что полноценное

питание деревьев грецкого ореха основными макроэлементами имеет большое значение в накоплении урожая грецкого ореха в условиях сероземов Самаркандской области. Тем более что при внесении минеральных удобрений путем фертигации питательные вещества в почве постоянно находятся в растворенном виде, то есть в очень доступной форме для растений в течение длительного времени, что лучше действует на питание, рост, развитие, накопление урожая грецкого ореха, чем обычное внесение, где удобрение в основном находится в условиях нехватки влаги в почве, так как во время вегетации грецкого ореха часто проводится орошение с меньшими нормами воды, поддерживая определенную влажность не во всех горизонтах почвы. Поэтому с внесением минеральных удобрений путем фертигации на сероземах существенно увеличивается урожай грецкого ореха. В контрольном варианте без внесения удобрений из-за малого количества подвижных питательных веществ и неполноценного питания растений образовывалось небольшое количество плодов с меньшей массой. Поэтому в этом варианте урожайность грецкого ореха была самой низкой на опыте.

Влияние минеральных удобрений при фертигации на урожайность грецкого ореха, ц/га

п/н	Варианты опыта	Годы исследования			Всего, ц	Среднее, ц/га	Прибавка	
		2022	2023	2024			ц/га	%
1	Контроль без удобрений	16,50	18,23	17,40	52,13	17,38	–	100
2	N75P57K38	57,95	54,00	57,00	168,95	56,32	38,94	324,05
3	N100P75K50	67,85	65,18	67,67	200,70	66,90	49,52	384,93
4	N150P115K75	87,30	84,53	88,70	260,53	86,84	69,46	499,65
5	N200P150K100	88,75	86,60	89,97	265,32	88,44	71,06	508,86
6	N250P185K125	89,80	87,58	90,77	268,15	89,38	72,00	514,27
	Sx %, %	1,82	3,20	3,53				
	HCP ₀₅ , ц/га	3,73	6,28	7,28				

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Следовательно, нехватка подвижных питательных веществ в почве не дает возможности формирования и получения высоких урожаев плодов грецкого ореха. С увеличением нормы минеральных удобрений при фертигации улучшается питательный режим почвы и питание растений, что обеспечивает повышение урожайности грецкого ореха. Однако увеличение нормы минеральных удобрений с N150P115K75 до N200P150K100 и N250P185K125 существенно не повышает урожай грецкого ореха в условиях интенсивного садоводства. Так, например, на контроле без удобрения средний урожай за три года был 17,38 ц/га, тогда как на варианте N75P57K38 – 56,32 ц/га, N100P75K50 – 66,90 ц/га, N150P115K75 – 86,84 ц/га, N200P150K100 – 88,44 ц/га, N250P185K125 – 89,38 ц/га. При этом дополнительный урожай при внесении удобрений составил 38,94; 49,52; 69,46; 71,06; 72,00 ц/га соответственно. Прибавка урожая по сравнению с контролем без удобрений была 224,05–414,27 % (табл. 4). Следовательно, самый высокий существенный урожай грецкого ореха получается при внесении минеральных удобрений в норме N150P115K75 путем фертигации, так как при таких условиях создается оптимальный питательный режим почвы для питания растений грецкого ореха.

Заключение

Таким образом, внесение минеральных удобрений путем фертигации при интенсивном способе возделывания грецкого ореха на сероземах улучшает питательный режим почвы, питание, рост, развитие растений и повышение урожая грецкого ореха. Причиной высокой эффективности мине-

ральных удобрений при фертигации помимо улучшения усвоения питательных веществ растениями в этих условиях является очень низкое содержание подвижных питательных веществ в сероземах. И оптимальной системой удобрений для грецкого ореха, возделываемого интенсивным способом при фертигации, является N150P115K75. При дальнейшем повышении нормы минеральных удобрений урожайность грецкого ореха существенно не повышается, то есть прибавка урожая будет находиться в пределах ошибки.

Список литературы

1. Cui M., Li Q., Ni Z., Han Y., Zheng Y., Mo R., Shen D., Liu Y. The Nutritional Qualities of Walnuts and Their Planted Soils from China – Level and Relationship // *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 1369. DOI: 10.3390/f14071369.
2. Yan R., Xiang F., Li Y., Li X., Zhang Y., Li J. Study on Soil Fertility Characteristics of Walnut Orchards with Different Parent Materials and Soil Types in Gyaca County, Tibet // *Agronomy*. 2024. Vol. 14. P. 1496. DOI: 10.3390/agronomy14071496.
3. Bhattarai B. P., Tomar C. S. Effect of Integrated Nutrient Management on Leaf Nutrient Status of Walnut (*Juglans regia* L.) // *Nepal Journal of Science and Technology*. 2009. Vol. 10. P. 63–67. DOI: 10.3126/njst.v10i0.2825.
4. Tariq A., Zeng F., Graciano C., Ullah A., Sadia S., Ahmed Z., Murtaza G., Ismoilov K., Zhang Z. Regulation of Metabolites by Nutrients in Plants. In *Plant Ionomics* (eds V. P. Singh and M. H. Siddiqui). 2023. DOI: 10.1002/9781119803041.ch1.
5. Khalil A. et al. Mineral Nutrition. In: Mir M. M., Rehman M. U., Iqbal U., Mir S. A. (eds) *Temperate Nuts*. Springer, Singapore. 2023. P. 171–186. DOI: 10.1007/978-981-19-9497-5_7_5.
6. Zhang R., Zhang Y., Song L., Song X., Hanninen H., Wu J. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 391. P. 321–329. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.02.036.
7. Goode J. E., Higgs K. H., Hyrycz K. J. Nitrogen and Water Effects on the Nutrition, Growth, Crop Yield and Fruit Quality of Orchard-Grown Cox's Orange Pippin Apple Trees // *Journal of Horticultural Science*. 1978. Vol. 53 (4). P. 295–306. DOI: 10.1080/00221589.1978.11514832.

8. Srivastava A. K., Malhotra S. K. Nutrient use efficiency in perennial fruit crops – A review // *Journal of Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40 (13). P. 1928–1953. DOI: 10.1080/01904167.2016.1249798.
9. Zhang Qian, Zhai Meizhi, Du Tianyu, Wen Hong, He Haiyun, Ji Ya'nan, Pang Junqian. Effects of Different Fertilization Treatments on Walnut Yield, Quality and Soil Fertility [J] // *Journal of Southwest Forestry University*. 2022. Vol. 42 (1). P. 39–46. DOI: 10.11929/j.swfu.202107015.
10. Imtiyaz A. Wani, Sheikh Mehraj, Mohammed Tauseef Ali, Asma Hassan, Sartaj A. Wani, Sharbat Hussain and I. A. Bisati Effect of Inorganic and Organic Fertilisers on Yield and Soil Nutrient Status of Walnut Orchard // *International Journal of Plant & Soil Science*. 2017. Vol. 16 (2). P. 1–13. DOI: 10.9734/IJPSS/2017/32310.
11. Bai Y.-C., Chang Y.-Y., Hussain M., Lu B., Zhang J.-P., Song X.-B., Lei X.-S., Pei D. Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. P. 694. DOI: 10.3390/microorganisms8050694.
12. Amiri M. E., Fallahi E., Golchin A. Influence of Foliar and Ground Fertilization on Yield, Fruit Quality, and Soil, Leaf, and Fruit Mineral Nutrients in Apple // *Journal of Plant Nutrition*, 2008. Vol. 31 (3). P. 515–525. DOI: 10.1080/01904160801895035.
13. Baldi E., Toselli M. Organic Fertilization of Fruit Trees as an Alternative to Mineral Fertilizers: Effect on Plant Growth, Yield and Fruit Quality. In: Gupta D. K., Palma J. M. (eds) *Plant Growth and Stress Physiology // Plant in Challenging Environments*. 2021. Vol. 3. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-78420-1_6.
14. Çetin Öner, Akalp Erhan. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation // *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 2019. Vol. 22. Is. 2. P. 97–102. DOI: 10.2478/ahr-2019-0019.
15. Fan J., Lu X., Gu Sh., Guo X. Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China // *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 241. Is. 1. 106352. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106352.
16. Li H., Mei X., Wang J., Huang F., Hao W., Li B. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 244. 106534. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106534.
17. Kumar D., Ahmed N., Response of Nitrogen and Potassium Fertigation to “Waris” Almond (*Prunus dulcis*) under Northwestern Himalayan Region of India // *The Scientific World Journal Volume* 2014. Article ID 141328, 6 p. DOI: 10.1155/2014/141328.
18. El-Habbasha S. F., Okasha E. M., Abdelraouf R. E., Mohammed A. S. H. Effect of Pressured Irrigation Systems, Deficit Irrigation and Fertigation Rates on Yield, Quality and Water use Efficiency of Groundnut // *International Journal of Chem Tech Research CODEN (USA): IJCRGG ISSN 0974-4290 Vol. 7. Is. 4. P. 1751–1764. URL: https://sphinxnsai.com/2015/ch_vol7_no4/2/(1751-1764)%20V7N4.pdf (дата обращения: 23.04.2026).*
19. Southwick S. M., Rupert M. E., Yeager J. T., Lampinen B. D., Dejong T. M., Weis K. G. Effects of nitrogen fertigation on fruit yield and quality of young ‘French’ prune trees // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 1999. Vol. 74 (2). P. 187–195. DOI: 10.1080/14620316.1999.11511093.
20. Nekha Tanari, Suma Ramegowda, Anusree Thottan and Manjunatha Girigowda Effect of fertigation of primary nutrients on pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit productivity and quality // *Tropical Plant Research. The Journal of the Society for Tropical Plant Research*. 2019. Vol. 6 (3). P. 424–432. DOI: 10.22271/tp.2019.v6.i3.052.
21. Агрохимические методы исследования почв. Ответственный редактор А. В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.avito.ru/perm/knigi_i_zhurnaly/agrohimicheskie_metody_issledovaniya_pochv._1975_7894710331 (дата обращения: 25.04.2026).
22. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ, 1970. 488 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.studmed.ru/arinushkina-ev-rukovodstvo-po-himicheskomu-analizu-pochv_73ec497f401.html (дата обращения: 25.04.2026).
23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. URL: https://mf.bmstu.ru/assets/files/soil_books/uchebnik9.pdf (дата обращения: 27.04.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.