СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2018, том 53, № 5, с. 1013-1024

УДК 634.11:631.8 doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1013rus

ОПТИМИЗАЦИЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ЯБЛОНИ (*Malus domestica* Borkh) ПРИ ФЕРТИГАЦИИ И ВНЕСЕНИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

А.И. КУЗИН[1, 2], Ю.В. ТРУНОВ[1], А.В. СОЛОВЬЕВ[1]

Азот занимает особое место среди почвенных макроэлементов, поскольку не входит в материнские горные породы и поступает с осадками, органическими остатками, удобрениями. Изменение обеспеченности растений яблони (*Malus domestica* Borkh) азотом сказывается на урожайности и качестве плодов быстрее, чем в случае других элементов. В этой работе впервые представлены результаты многофакторного анализа минерального статуса почвы, листьев и плодов яблони на выщелоченном черноземе при разных режимах азотного питания, подтвердившие наибольшую экологическую безопасность и эффективность фертигации. Цель исследования заключалась в разработке модели урожайности яблони и оптимизации обеспечения растений азотом для повышения продуктивности и качества плодов при внесении различных типов удобрений. Опыты проводили в экспериментальном саду Федерального научного центра им. И.В. Мичурина (Тамбовская обл., г. Мичуринск) в 2014-2016 годах, яблони сорта Жигулевское на подвое 62-396, по 5 деревьев на делянке, повторность 3-кратная (сад заложен в 2007 году, схема 4,5 м×1 м). Удобрения вносили ежегодно ранней весной с заделкой в почву на 10-15 см, фертигационные поливы осуществляли в течение вегетационного периода с учетом потребности растений в элементах питания. Схема опыта включала следующие варианты: контроль 1 (без удобрений и орошения), контроль 2 (без удобрений с капельным орошением); внесение N_{60}, N_{90}, N_{120}, $N_{60}P_{20}K_{60}$, $N_{90}P_{30}K_{90}$, $N_{120}P_{60}K_{120}$; фертигация N_{15}, N_{25}, N_{35}, $N_{15}P_{12}K_{15}$, $N_{25}P_{20}K_{25}$, $N_{35}P_{25}K_{35}$; бактериальное удобрение азотовит, 4 л/га (живые клетки и споры бактерий *Azotobakter chroococcum* B-9029, титр 5×10^9 КОЕ/г), бактериальные удобрения азотовит, 4 л/га + фосфатовит, 4 л/га; живые клетки и споры бактерий *Bacillus mucilaginosus* B-8966, титр 0,129 КОЕ/г) (бактериальные препараты производства ООО «Промышленные инновации», Россия). Учитывали урожайности, содержание основных элементов питания в листьях и почве. Определяли количество гумуса, кислотность почвы, численность микроорганизмов в ризосфере яблони. В плодах оценивали количество аскорбиновой кислоты, сахаров и органических кислот. Содержание азота в листьях, в плодах и в почве измеряли по Кьельдалю, фосфора — на фотометре КФК-3-01 (Россия), калия — на пламенном фотометре Jenway PFP-7 (Великобритания). Однофакторное внесение азота в почву не приводило к увеличению урожайности, которое наблюдалось только при комплексном внесении удобрений. Фертигации $N_{35}P_{25}K_{35}$ обеспечила оптимальное содержание всех основных элементов питания в листьях и максимальную урожайность в среднем за время исследований — 396,3 ц/га. Однофакторное внесение азотных удобрений, повышая содержание легкогидролизуемого азота, нарушало баланс элементов питания в почве, что ограничивало рост урожайности. Комплексное внесение удобрений как при фертигации, так и при использовании бактериальных препаратов обеспечило оптимальное соотношение N/P в плодах — 6,8, а также соотношения K/N — 1,8-1,9. Внесение минеральных удобрений посредством фертигации и в приствольные полосы с заделкой снижало накопление аскорбиновой кислоты в плодах съемной зрелости. Самое негативное влияние на концентрацию витамина С оказывало однофакторное внесение азотных удобрений разными способами (на 15-20 % по сравнению с комплексным внесением), при этом также снижался сахарокислотный индекс плодов (до 10,7-12,8). Фертигация и внесение в почву бактериальных удобрений повышали ее микробиологическую активность. В результате наших исследований разработана модель урожайности яблони, позволяющая оптимизировать внесение азотных удобрений. Применение в интенсивном саду бактериальных удобрений в качестве временной альтернативы минеральным тукам способствует повышению урожайности (до 327,5 ц/га в среднем за 3 года).

Ключевые слова: *Malus domestica* Borkh, яблоня, азотное питание, фертигация, внесение удобрений в почву с заделкой, капельное орошение, урожайность, качество плодов.

Недостаток азота тормозит рост надземной части и корневой системы растений, что приводит к снижению их фотосинтетического потенциала и продуктивности (1), тогда как оптимальное азотное питание способствует повышению активности ферментных белков. В этой связи важно отметить, что азотный статус служит фактором, регулирующим способность конструировать белки теплового шока, что повышает жаростойкость растений (2). Азотное питание активизирует фотосинтетическую деятельность и повышает продуктивность (3), влияет на рост деревьев, их штамбов, побегов и листьев за счет процессов белкового синтеза (4, 5). Оптимальное

азотное питание оказывает положительное действие на развитие корневой системы, ростовые процессы, морфологическое строение и ветвление корней (6, 7). По данным Ю.В. Трунова (6), при повышении дозы азота усиливалось поглощение корнями азота, фосфора и калия. Азотное питание способствует увеличению числа плодовых образований и их долговечности, обильному цветению и завязыванию плодов, уменьшению редукции завязи, росту плодов, увеличению их среднего размера и урожайности (8-10). Избыток азота вызывает чрезмерный рост побегов в ущерб продуктивности, формирование крупных, но рыхлых листьев, затяжной рост, замедление вызревания растений и снижение их морозостойкости (11, 12). Возникает дефицит микроэлементов (Zn, Cu, Fe) и, как следствие, развиваются физиологические заболевания (13). Задерживается созревание плодов, ухудшаются их вкус, лежкость, внешний вид, увеличивается подверженность физиологическим и инфекционным заболеваниям в период хранения (14-16).

В яблоках содержатся сахара, необходимые кислоты, практически все нужные человеку витамины и микроэлементы (17), но негативное влияние избытка азота может значительно снижать потребительские качества плодов. В то же время при правильном подборе оптимальных доз азотных удобрений и способов их внесения появляется возможность управлять продуктивностью насаждений и качеством урожая при одновременном снижении затрат и негативного воздействия на окружающую среду (10, 18).

Диетическая ценность плодов яблони, особенно в зимнее время, в значительной степени определяется содержанием витамина С. Кроме того, аскорбиновая кислота играет важную роль при длительном хранении. Как антиоксидант она участвует в окислительных и восстановительных процессах, в синтезе гормонов и других важнейших соединений (19). Аскорбиновая кислота также необходима для преодоления и снижения последствий окислительных стрессов (20, 21). Например, побурение мякоти сильно ингибируется при достаточном количестве аскорбиновой кислоты (21). Механизмы этого пока до конца не ясны, но показано, что в первую очередь ограничиваются негативные окислительные процессы на мембранах и прекращается разрушение жиров перекисями (22). Аскорбиновая кислота важна для преодоления солевых стрессов (23). Сахарокислотный индекс (СКИ), при котором вкус плодов наиболее гармоничен, находится в пределах 15-25. При СКИ значительно больше 25 плоды имеют пресный вкус и малопригодны для технической переработки (24).

Такие важные качества, как лежкость и сохранность плодов, зависят не только от условий хранения, но и от содержания и соотношения минеральных элементов в плодах и листьях (25), то есть тоже связаны с обеспеченностью растений нутриентами.

Мы впервые комплексно оценили минеральный статус и повышение продуктивности интенсивных насаждений яблони на выщелоченном черноземе при изменении минерального и водного режимов с использованием фертигации и капельного орошения. Это позволило установить особенности применения бактериальных удобрений (азотовит и фосфатовит) и примерные нормы фертигации для региона.

Цель исследования заключалась в разработке модели урожайности яблони и оптимизации обеспечения растений азотом для повышения продуктивности и качества плодов при внесении различных типов удобрений.

Методика. Наблюдения проводили в экспериментальном саду ФНЦ им. И.В. Мичурина (Тамбовская обл., г. Мичуринск) в 2014-2016 годах на яблонях (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское, привитых на подвой 62-396. Сад заложен в 2007 году (схема посадки 4,5 м×1 м), оборудован

системой фертигации и капельного орошения, по 5 деревьев на делянке, повторность 3-кратная. Почва опытного участка — выщелоченная лугово-черноземная, слабогумусированная, среднесуглинистая на песке с псевдофибрами. Содержание гумуса — 2,6-3,2 %, насыщенность основаниями — 70-90 %, глубина гумусового горизонта в среднем 40-50 см. Реакция верхних слоев почвы слабокислая (pH 5,7-5,9). Структура почвы — пылевато- и комковато-зернистая. Доля пор в верхних горизонтах до 65 %. Полевая влагоемкость пахотного слоя почвы составляла около 30 %, содержание легкогидролизуемого азота — 152,8 мг/кг почвы по И.В. Тюрину и М.М. Кононовой, подвижного фосфора — 146,0 мг/кг почвы, обменного калия — 167,6 мг/кг почвы по Ф.В. Чирикову.

Удобрения вносили ежегодно ранней весной с заделкой в почву на 10-15 см, фертигационные поливы осуществляли в течение всего вегетационного периода с учетом потребности растений в конкретных элементах питания. Ежегодную норму удобрений для фертигации распределяли на 10 поливов. Схема опыта включала следующие варианты: контроль 1 (без удобрений и орошения); контроль 2 (без удобрений с капельным орошением); внесение N_{60}, N_{90}, N_{120}, $N_{60}P_{20}K_{60}$, $N_{90}P_{30}K_{90}$; применение бактериальных удобрений — азотовита (4 л/га, живые клетки и споры бактерий *Azotobakter chroococcum* B-9029, 5×10^9 КОЕ/г), азотовита (4 л/га) в сочетании с фосфатовитом (4 л/га, живые клетки и споры бактерий *Bacillus mucilaginosus* B-8966, 0,129 КОЕ/г) (производитель бактериальных удобрений ООО «Промышленные инновации», Россия). Бактериальные удобрения вносили поливом почвы весной в зоне корней в варианте с капельным орошением.

С заделкой в почву вносили аммиачную селитру с содержанием аммонийного и нитратного азота не менее 34,4 %, суперфосфат гуминизированный — фосфорное водорастворимое удобрение $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ с 26 % P_2O_5, 5 % N и сульфат калия — высококонцентрированное бесхлорное удобрение (46-50 % K_2O) (все препараты производства ОАО «Буйский химический завод» — БХЗ, Россия). При фертигации использовали аммофоску — комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение (12 % N, 15 % P_2O_5, 15 % K_2O, 14 % S, 0,5 % MgO) (ООО «Метторг», Россия), монофосфат калия — фосфорно-калийное сложное удобрение (52 % P_2O_5, 34 % K_2O) (ОАО БХЗ); Master — комплексное водорастворимое удобрение с микроэлементами в форме хелатов ($N_{13}P_{40}K_{13}$, 0,070 % Fe, 0,030 % Mn, 0,010 % Zn, 0,005 % Cu, 0,020 % B, 0,001 % Mo) («Valagro SpA», Италия). Состав удобрений для приготовления рабочего раствора для фертигации подбирали, исходя из потребностей растений по фазам вегетации.

Образцы почвы отбирали в конце августа (для определения количества микроорганизмов — в июне и в августе) в слое 0-40 см. Определяли количество гумуса, легкогидролизуемого азота методом Кьельдаля (26), содержание подвижного фосфора (на фотометре КФК-3-01, «Загорский оптико-механический завод», Россия) и обменного калия (на пламенном фотометре Jenway PFP 7, «Bibby Scientific», Великобритания) по Чирикову (27), pH почвы в вытяжке KCl, сумму обменных оснований методом Каппена-Гильковица (27), количество микроорганизмов в ризосфере методом Красильникова на мясо-пептонном агаре (МПА) (28).

Пробы листьев отбирали в середине августа. Оценивали содержание общего азота по Кьельдалю, фосфора и калия в одной навеске (27).

В плодах съемной зрелости определяли количество моносахаридов и дисахаридов по Бертрану, аскорбиновой кислоты — йодометрически, общую кислотность — титрометрическим методом (29), содержание сухих веществ — после высушивания до постоянной массы (27). Урожайность учи-

тывали при взвешивании плодов с учетных деревьев (30).

Математическую обработку результатов выполняли общепринятыми методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа (31, 32), используя пакет программ Microsoft Excel 2007 с надстройкой AgCStat. Приведены средние значения (*M*) со стандартными ошибками средних (±SEM), коэффициенты парных корреляций (*r*), значения наименьшей существенной разницы при 95 % доверительном уровне ($t_{0,05}$).

Результаты. В растении и в почве азот очень подвижен, нитратный азот легко вымывается в грунтовые воды. Активное капельное орошение и завышенные нормы азотных удобрений могут иметь негативные последствия, поэтому уточнение особенностей азотного питания важно для снижения загрязнения окружающей среды (33).

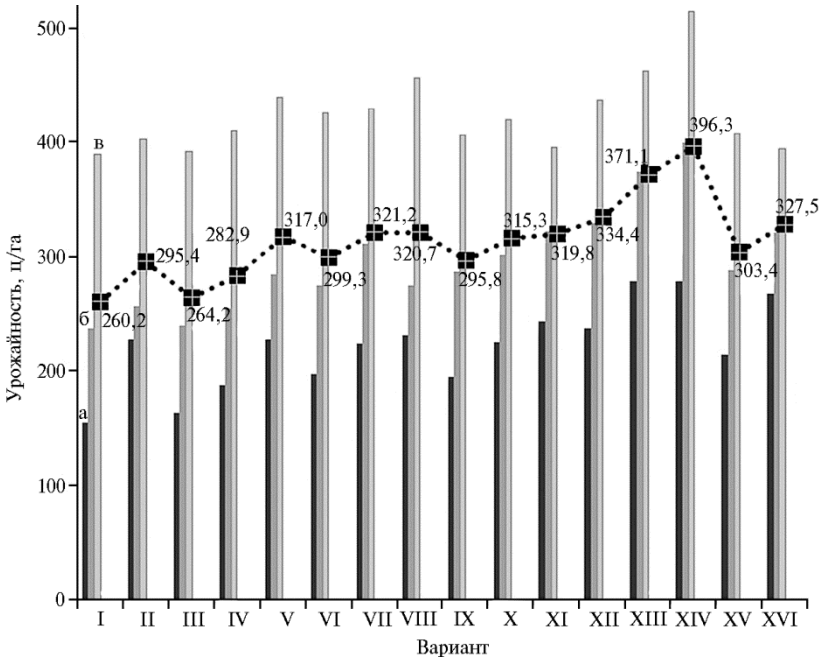

Рис. 1. Урожайность яблони (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское на подвое 62-396 при разных способах внесения азотных удобрений в 2014 (а)**, 2015** (б) **и 2016** (в) **годах:** I — без удобрений и орошения (контроль 1), II — без удобрений с капельным орошением (контроль 2); III — внесение N_{60}, IV — N_{90}, V — N_{120}, VI — $N_{60}P_{20}K_{60}$, VII — $N_{90}P_{30}K_{90}$, VIII — $N_{120}P_{60}K_{120}$; IX — фертигация N_{15}, X — N_{25}, XI — N_{35}, XII — $N_{15}P_{12}K_{15}$, XIII — $N_{25}P_{20}K_{25}$, XIV — $N_{35}P_{25}K_{35}$; XV — азотовит, XVI — азотовит + фосфатовит. На графике показана средняя урожайность. $НСР_{05}$: 2014 год — 25,8; 2015 год — 34,0; 2016 год — 49,3; в среднем за 3 года — 36,4 ц/га (Тамбовская обл., г. Мичуринск).

В нашем опыте азотные удобрения без орошения не оказали значительного влияния на увеличение средней урожайности за 3 года исследований ($НСР_{05}$ 36,4 ц/га), за исключением варианта с максимальной нормой азота N_{120} (рис. 1). Внесение азотных удобрений в дозе 120 кг/га, а также комплексная заделка удобрений в приствольные полосы существенно повысили урожайность по сравнению с контролем 1: в среднем за 3 года с 260,2 до 317,0 (N_{120}), 321,2 ($N_{90}P_{30}K_{90}$) и 321 ц/га ($N_{120}P_{60}K_{120}$), то есть на 56,8-60,0 ц/га (или на 21,8-23,1 %), что было обусловлено повышением содержания азота, фосфора и калия в почве до оптимального. Фертигация снижала норму внесения удобрений, но продуктивность заметно возрастала только при их комплексном использовании (наибольшую урожайность отмечали при максимальной дозе). В среднем за 2014-2016 годы использование капельного орошения способствовало увеличению этого показа-

теля в контроле 2 по сравнению с контролем 1 с 260,2 до 295,4 ц/га (на 35,2 ц/га, или на 13,5 %).

Азотовит и фосфатовит — препараты, предназначенные для исключения или ограничения использования минеральных удобрений, оптимизации усвоения необходимых элементов и, как следствие, повышения качества и урожайности, получения экологически чистой продукции. Прибавку урожайности в вариантах с бактериальными удобрениями оценивали по сравнению с контролем 2. Внесение в почву азотовита не оказало заметного влияния на этот показатель. При сочетании бактериальных удобрений рост урожайности был сопоставим с таковым в случае фертигации при внесении комплекса минеральных удобрений в минимальной концентрации. Одновременное использование азотовита и фосфатовита приводило к повышению урожайности с 295,4 до 337,5 ц/га (на 42,1 ц/га, или на 14,3 %) за счет увеличения количества микроорганизмов в ризосфере яблони и большей доступности минеральных элементов для растений. Фертигация комплексом минеральных элементов увеличила урожайность в среднем за 2014-2016 годы с 295,4 до 334,4 ($N_{15}P_{12}K_{15}$), 371,1 ($N_{25}P_{20}K_{25}$) и 396,3 ц/га ($N_{35}P_{25}K_{35}$), то есть на 39,0-100,9 ц/га (на 13,2-34,2 %), что статистически достоверно ($НСР_{05}$ = 36,4 ц/га).

1. Содержание элементов питания в почве и листьях у яблони (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское на подвое 62-396 при разных способах внесения азотных удобрений (*M*±SEM, г. Мичуринск, Тамбовская обл., 2014-2016 годы)

Вариант	Содержание					
	в почве, мг/кг			в листьях, % сырого вещества		
	N легкогидролизуемый	P_2O_5	K_2O	N	P	K
Без удобрений						
Контроль 1 (без орошения)	107,2	131,4	138,8	1,17	0,32	0,76
Контроль 2 (с орошением)	87,4	114,5	114,6	1,37	0,21	0,98
Среднее	97,3±4,3	123,0±4,2	126,7±4,7	1,27±0,067	0,27±0,008	0,87±0,041
Заделка удобрений в почву						
N_{60}	127,4	121,7	150,7	1,48	0,24	1,21
N_{90}	177,9	137,3	128,9	1,55	0,22	1,09
N_{120}	201,6	123,2	135,6	1,77	0,26	1,25
$N_{60}P_{20}K_{60}$	146,5	176,4	173,9	1,87	0,33	1,34
$N_{90}P_{30}K_{90}$	184,6	185,5	206,1	1,95	0,41	1,26
$N_{120}P_{60}K_{120}$	196,8	193,1	219,7	2,14	0,39	1,48
Среднее	172,5±8,1	156,2±9,4	169,2±8,8	1,79±0,094	0,31±0,011	1,27±0,57
Фертигация						
N_{15}	156,3±7,8	102,9	118,4	1,60	0,28	1,09
N_{25}	173,6	107,7	128,9	1,69	0,18	1,19
N_{35}	177,4	115,7	107,7	1,96	0,32	0,95
$N_{15}P_{12}K_{15}$	156,3	142,5	168,9	1,88	0,44	1,48
$N_{25}P_{20}K_{25}$	166,4	154,9	175,8	2,07	0,49	1,51
$N_{35}P_{25}K_{35}$	182,7	169,7	171,2	2,41	0,55	1,30
Среднее	168,8±7,7	132,2±7,3	145,2±8,1	1,94±0,114	0,38±0,012	1,25±0,055
Бактериальные удобрения						
Азотовит, 4 л/га	162,4	103,9	141,3	1,70	0,31	1,20
Азотовит, 4 л/га + фосфатовит, 4 л/га	175,3	172,7	182,2	2,27	0,43	1,33
Среднее	168,9±8,2	172,7±8,9	182,2±9,2	2,0±0,115	0,37±0,09	1,3±0,057
$НСР_{05}$	22,2	18,3	15,1	0,18	0,07	0,12
Оптимальное содержание (по данным литературы)						
	151-200 (37)	151-200 (38)	121-180 (38)	1,8-2,5 (39)	0,3-0,5 (39)	1,2-1,8 (39)

Внесение удобрений положительно сказывалось на увеличении содержания элементов питания в почве (табл. 1). Наибольшее значение в условиях нашего опыта имело внесение азота и фосфора, содержание которых в контроле было заметно ниже оптимального. Обеспеченность почвы обменным калием оказалась выше, хотя в отдельные годы мы отмечали недостаточное содержание в растениях и этого элемента, что могло быть

связано с его вымыванием из листьев с осадками и перераспределением поглощенного корнями калия в плоды при их созревании (34). Такая реакция в значительной степени зависит от условий опыта, в первую очередь от типа почвы. Так, в полевых исследованиях D. Malaguti с соавт. (35) на аллювиальной почве (Италия) содержание в ней калия увеличивалось при фертигации, а количество азота — при заделке удобрений в почву. Однако при высоких дозах удобрений фертигация может приводить к усилению гетерогенности почвенного покрова в саду (36). В нашем опыте однофакторное внесение азота повышало его содержание до оптимального (177,9-201,6 мг/кг почвы), но количество фосфора и калия в почве оставалось без изменений (P_2O_5 — 121,7-137,3; K_2O — 128,9-150,7 мг/кг почвы). Как следствие, урожайность при монофакторном внесении существенно увеличилась только при максимальной норме азота. При комплексном внесении удобрений содержание элементов питания было оптимальным практически во всех вариантах с заделкой в почву. При фертигации содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см было всего на 3-5 % ниже, чем при внесении с заделкой на 10-15 см, но количество вносимых в почву азотных удобрений при этом оказалось ниже на 70-75 %.

Потребность растений в азоте и его доступность определяются водным режимом и содержанием других элементов питания в почве. Индикаторным органом для оценки обеспеченности растений служит лист. Содержание элементов питания в листе не всегда напрямую связано с их количеством в почве, и только у азота эта зависимость выражена наиболее четко (40). Несмотря на повышение содержания легкогидролизуемого азота в почве при однофакторном внесении азотных удобрений, его количество в листьях не попадало в пределы оптимума. Это было характерно и для вариантов с заделкой удобрений в почву, и для фертигации. Только при комплексном внесении удобрений, когда содержание всех изучаемых элементов питания оптимизировано, количество азота в листьях возрастало до оптимального.

Концентрация элементов в плодах не так сильно коррелирует с их количеством в почве, как содержание в листьях. Однако информация о химическом составе плодов позволяет судить о качестве питания растения и прогнозировать лежкость при хранении. Слишком высокое содержание азота в плодах при относительно низком — кальция может приводить к развитию многих физиологических заболеваний при хранении (21).

Накопление элементов питания, в первую очередь азота, в плодах возрастало с увеличением нормы азотных удобрений (табл. 2). При однофакторном внесении азота фертигацией его количество превысило верхний лимит оптимума. В этом случае при высоком содержании азота количество других элементов, особенно фосфора, не достигало оптимального. Обеспеченность почвы обменным калием была довольно высока, но его содержание в плодах в значительной мере определялось плодовой нагрузкой.

Комплексное внесение удобрений позволяет оптимизировать обеспеченность плодов элементами, соотношение которых — важный показатель качества. Это соотношение в значительной степени зависит от сорта и региона возделывания (по неопубликованным результатам наших исследований, в плодах в Центральном Черноземье для N/P оптимальны значения 6,5-7,0, для N/K — 1,8-2,2). Оптимальные соотношения N/P наблюдали при максимальных нормах для комплекса удобрений (как при внесении с заделкой в почву, так и при фертигации), в контроле 2 и в обоих вариантах с бактериальными удобрениями. При внесении максимальной комплексной нормы минеральных удобрений с заделкой в почву, при фертигации азотными удобрениями и максимальным комплексом, а также

2. Химический состав и некоторые показатели качества плодов яблони (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское на подвое 62-396 при разных способах внесения азотных удобрений (*M*±SEM, г. Мичуринск, Тамбовская обл., 2014-2016 годы)

Вариант	Основные элементы питания, % сырого вещества			Соотношение в плодах		Содержание			СКИ
	N	P	K	N/P	N/K	аскорбиновой кислоты, мг%	суммы сахаров, %	органических кислот, %	
Без внесения удобрений									
Контроль 1 (без орошения)	0,19	0,046	0,69	4,1	3,6	15,70	10,5	0,66	15,9
Контроль 2 (с орошением)	0,23	0,034	0,79	6,8	3,4	14,36	10,1	0,76	13,3
Среднее	0,21±0,01	0,040±0,02	0,74±0,04	5,5±0,3	3,5±0,2	15,03±0,75	10,3±0,6	0,71±0,04	14,6±0,8
Заделка удобрений в почву									
N_{60}	0,19	0,033	0,85	5,8	4,5	13,48	9,2	0,83	11,1
N_{90}	0,42	0,059	0,67	7,1	1,6	12,78	8,6	0,73	11,8
N_{120}	0,55	0,053	1,04	10,4	1,9	11,85	8,1	0,76	10,7
$N_{60}P_{20}K_{60}$	0,28	0,073	1,06	3,8	3,8	13,20	10,0	0,68	14,7
$N_{90}P_{30}K_{90}$	0,39	0,070	1,24	5,6	3,2	14,83	11,6	0,77	15,1
$N_{120}P_{60}K_{120}$	0,48	0,078	1,14	6,2	2,3	14,07	11,7	0,82	14,3
Среднее	0,39±0,02	0,061±0,003	1,00±0,05	6,5±0,4	2,9±0,1	13,37±0,71	9,6±0,6	0,77±0,04	13,0±0,8
Фертигация									
N_{15}	0,33	0,062	0,69	5,3	2,1	13,64	8,7	0,68	12,8
N_{25}	0,40	0,033	0,76	12,1	1,9	12,83	8,7	0,82	10,6
N_{35}	0,57	0,044	0,73	13,0	1,3	11,94	8,6	0,77	11,2
$N_{15}P_{12}K_{15}$	0,40	0,069	1,07	5,8	2,6	15,41	12,4	0,74	16,8
$N_{25}P_{20}K_{25}$	0,41	0,055	1,13	7,5	2,8	14,75	12,5	0,93	13,4
$N_{35}P_{25}K_{35}$	0,48	0,071	1,15	6,8	1,9	14,87	12,9	0,76	17,0
Среднее	0,43±0,02	0,056±0,03	0,92±0,005	8,4±0,05	2,1±0,1	13,91±0,68	9,6±,05	0,74±0,05	13,6±0,7
Бактериальные удобрения									
Азотовит 4 л/га	0,34	0,052	0,69	6,5	2,3	14,09	9,6	0,84	11,4
Азотовит, 4 л/га + фосфатовит, 4 л/га	0,48	0,071	0,86	6,8	1,8	15,72	11,8	0,74	15,9
Среднее	0,41±0,02	0,062±0,003	0,78±0,04	6,7±0,4	2,1±0,1	14,91±0,91	10,7±0,7	0,79±0,05	13,7±0,8
$НСР_{05}$	0,05	0,007	0,12	0,9	0,3	1,92	1,3	0,08	1,76
Сравниваемые показатели (по данным литературы)									
	0,3-0,5 (37)	0,07-0,10 (37)	0,8-1,2 (37)	6,5-7,0 (но)	1,8-2,2 (но)	10,1-15,0 (41)	9,2-12,2 (41)	0,51-0,80 (41)	13,0-20,0 (41)

Примечание. СКИ — сахарокислотный индекс. Для N, P, K (37) приведено оптимальное содержание, для аскорбиновой кислоты, суммы сахаров, органических кислот и СКИ (41) — средние показатели для плодов; но — результаты неопубликованных исследований авторов статьи.

при внесении бактериальных удобрений соотношение N/K было оптимальным или близким к оптимальному. Одновременно оба соотношения (N/K и N/P) становились оптимальными только при комплексном внесении максимальной нормы с заделкой в почву ($N_{120}P_{60}K_{120}$) и фертигации ($N_{35}P_{25}K_{35}$). Очевидно, это стало результатом повышения микробиологической активности почвы, что улучшило поглощение не только азота, но и других элементов.

Внесение удобрений негативно повлияло на количество аскорбиновой кислоты в плодах съемной зрелости (см. табл. 2). В среднем за 3 года максимальное значение этого показателя отмечали в контроле 1 и при внесении в почву комплекса бактериальных удобрений. Несколько меньше (в пределах статистической погрешности) было содержание витамина С в вариантах $N_{90}P_{30}K_{90}$, $N_{120}P_{60}K_{120}$ и при комплексной фертигации всеми изученными нормами удобрений. Внесение в почву только азотных удобрений оказало значительный негативный эффект на содержание аскорбиновой кислоты, которое снижалось с увеличением нормы удобрений.

3. Почвенные характеристики (слой 0-40 см) **опытных делянок при выращивании яблонь (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское на подвое 62-396 при разных способах внесения азотных удобрений** (*M*±SEM, г. Мичуринск, Тамбовская обл., 2014-2016 годы)

Вариант	pH	Содержание гумуса, %	Сумма обменных оснований, ммоль/100 г почвы
Без внесения удобрений			
Контроль 1 (без орошения)	5,5	3,0	26,2
Контроль 2 (с орошением)	5,5	2,9	26,0
Среднее	5,50±0,14	2,95±0,11	26,10±1,14
Заделка удобрений в почву			
N_{60}	5,6	2,9	26,1
N_{90}	5,5	3,0	24,4
N_{120}	5,6	2,8	23,8
$N_{60}P_{20}K_{75}$	5,5	2,9	25,9
$N_{90}P_{30}K_{90}$	5,4	3,1	26,8
$N_{120}P_{60}K_{120}$	5,4	3,0	26,8
Среднее	5,50±0,23	2.95±0,14	25,63±1,46
Фертигация			
N_{15}	5,5	3,0	24,2
N_{25}	5,4	3,1	27,0
N_{35}	5,4	2,9	25,1
$N_{15}P_{12}K_{15}$	5,4	3,0	27,3
$N_{25}P_{20}K_{25}$	5,4	2,8	26,9
$N_{35}P_{25}K_{35}$	5,4	2,9	23,4
Среднее	5,42±0,18	. 2,95±0,07	25,65±1,62
Бактериальные удобрения			
Азотовит, 4 л/га	5,5	2,8	26,1
Азотовит, 4 л/га + фосфатовит, 4 л/га	5,6	2,9	25,8
Среднее	5,55±0,17	2,95±0,11	25,95±1,38
$НСР_{05}$	0,14	0,19	1,19

Комплексное внесение минеральных и бактериальных удобрений при заделке в почву и фертигации стимулировало повышение содержания сахаров по сравнению с контрольными вариантами. В то же время однофакторное применение азотных удобрений вызывало значительное снижение этого показателя. Степень негативного эффекта не зависела от нормы и способа внесения удобрений, он отсутствовал только при применении препарата азотовит. Содержание органических кислот в плодах съемной зрелости увеличивалось при использовании минеральных удобрений, но мы не выделили однозначной тенденции, связанной с однофакторным применением азота. Поскольку однофакторное использование азотных удобрений оказало негативное влияние на количество сахаров в плодах, увеличение содержания органических кислот в этих вариантах привело к заметному снижению сахарокислотного индекса (СКИ).

Содержание гумуса и кислотность почвы незначительно колебались по вариантам. Изменения не имели однозначной тенденции (табл. 3). Сумма поглощенных оснований в слое почвы 0-40 см также не менялась при внесении в почву различных удобрений и орошении.

Фертигация полным NPK и внесение в почву бактериальных препаратов значительно увеличили количество микроорганизмов в ризосфере по сравнению с контролем (рис. 2), причем фертигация NPK повышала количество микроорганизмов в июне, а внесение бактериальных удобрений — в августе. При поверхностном внесении с заделкой в почву как полного NPK, так и только азотного удобрения количество микроорганизмов было сопоставимо с контролем. Фертигация азотом обеспечивала значительное увеличение микробиологической активности почвы, но только в июне. Однофакторное внесение минеральных азотных удобрений с заделкой в почву (N_{120}) не оказало заметного влияния на количество микроорганизмов, но однофакторное применение бактериального удобрения азотовит способствовало увеличению микробиологической активности почвы.

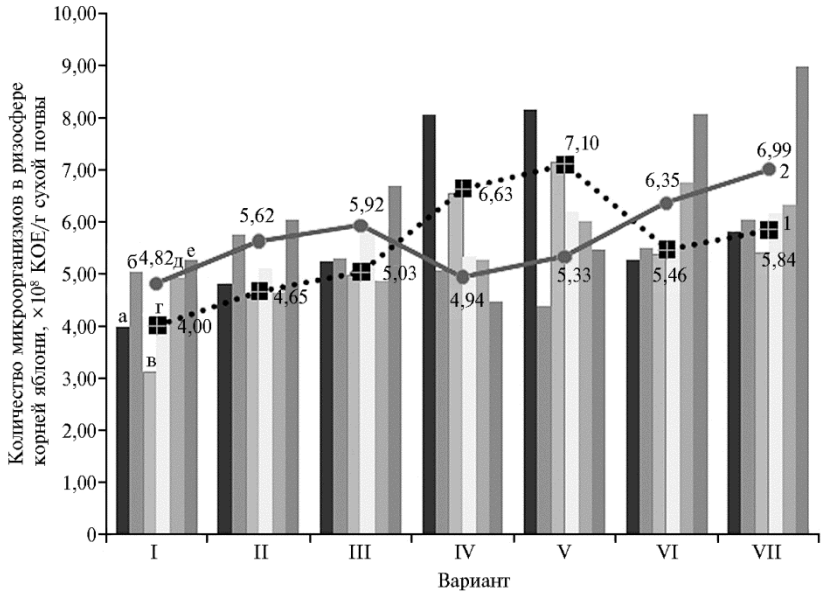

Рис. 2. Динамика численности микроорганизмов в ризосфере яблони (*Malus domestica* Borkh) сорта Жигулевское на подвое 62-396 под влиянием азотных удобрений в июне (а) **и августе** (б) **2014 года, июне** (в) **и августе** (г) **2015 года, июне** (д) **и августе** (е) **2016 года:** I — контроль 1 (без удобрений и орошения), II — N_{120}, III — $N_{120}P_{60}K_{120}$, IV — N_{35}, V — $N_{35}P_{25}K_{35}$; VI — азотовит, 4 л/га, VII — азотовит, 4 л/га + фосфатовит, 4 л/га; 1 и 2 — среднее количество микроорганизмов соответственно в июне и августе. $НСР_{05}$: 06.2014 — $1{,}06\times10^6$; 08.2014 — $7{,}65\times10^5$; 06.2015 — $5{,}53\times10^5$; 08.2015 — $3{,}40\times10^5$; 06.2016 — $3{,}51\times10^5$; 08.2016 — $6{,}93\times10^5$; в среднем за 3 года в июне — $3{,}58\times10^5$, в августе — $8{,}38\times10^5$ КОЕ/г (Тамбовская обл., г. Мичуринск, 2014-2016 годы).

В наших работах мы указывали на то, что количество микроорганизмов в ризосфере яблони имеет прямую положительную корреляцию с продуктивностью растений (42). Внесение комплекса минеральных и органических удобрений совместно с препаратом экстрасол (жидкая форма штамма *Basillus subtilus* Ч 13) повышало урожайность яблони и увеличивало микробиологическую активность почвы в условиях Московской области (43). Применение биоорганического удобрения в Китае (г. Линфэнь, провинция Шаньси) способствовало значительному увеличению урожайности и улучшению продуктивности насаждений, а также физико-химической и ферментативной активности почвы (44).

Обработка полученных данных выявила тесную положительную корреляция между содержанием азота в листьях и его легкогидролизуемой формы в почве (r = 0,73), а также содержанием азота в листьях и урожайностью (r = 0,72). Связь между содержанием легкогидролизуемого азота в почве и в плодах оказалась несколько слабее (r = 0,61).

На основании полученных результатов мы разработали модель урожайности яблони, которая позволяет оптимизировать внесение азотных удобрений с учетом других факторов: $Y = 1,37 + 0,0922x_1 - 0,0521x_2 + 9,01x_3 + 108,95x_4 + 1,91x_5 - 1,98x_6 + 0,61x_7 + 0,63x_8 + 0,21x_9$, где Y — урожайность, ц/га; x_1 — норма внесения азотных удобрений, д.в. кг/га; x_2 — содержание легкогидролизуемого азота в почве, мг/кг почвы; x_3 — содержание азота в листьях, % сухого вещества; x_4 — содержание азота в плодах, % сухого вещества; x_5 — влажность почвы, %; x_6 — норма внесения фосфорных удобрений, д.в. кг/га; x_7 — норма внесения калийных удобрений, д.в. кг/га; x_8 — содержание доступного фосфора в почве, мг/кг почвы; x_9 — содержание обменного калия в почве, мг/кг почвы.

Таким образом, однофакторное внесение азота в почву позволяет оптимизировать его накопление в листья только при очень высоких нормах, но это вызывает дисбаланс в питании растений и увеличивает агрохимическую нагрузку на окружающую среду. Фертигация наиболее эффективно влияет на урожайность и качество плодов яблони и наиболее экологически безопасна, поскольку количество вносимых при этом удобрений на 70-75 % меньше, чем при заделке в почву. Она значительно повышает микробиологическую активность почвы, что обеспечивает увеличение поглощения растениями элементов питания и, как следствие, улучшение физиологического состояния деревьев.

[1]ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет,
393760 Россия, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,
e-mail: info@mgau.ru, kuzin@mgau.ru ✉, trunov.yu58@mail.ru,
vladsoloviev1611@yandex.ru
[2]ФГБНУ Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина,
393774 Россия, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30,
e-mail: info@fnc-mich.ru

Поступила в редакцию 29 июня 2017 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2018, V. 53, № 5, pp. 1013-1024

APPLE TREE (*Malus domestica* Borkh) NITROGEN SUPPLY OPTIMIZATION BY FERTIGATION AND BACTERIAL FERTILIZERS

A.I. Kuzin[1, 2], Yu.V. Trunov[1], A.V. Solovyev[1]

[1]Michurinsk State Agrarian University, 101, ul. Internatsionalnaya, Michurinsk, Tambov Region, 393760 Russia, e-mail info@mgau.ru, kuzin@mgau.ru (✉ corresponding author), trunov.yu58@mail.ru, vladsoloviev1611@yandex.ru;
[2]Michurin Federal Scientific Centre, Federal Agency for Scientific Organizations, 30, ul. Michurina, Michurinsk, Tambov Region, 393774 Russia, e-mail info@fnc-mich.ru
ORCID:
Kuzin A.I. orcid.org/0000-0002-0446-0085 Trunov Yu.V. orcid.org/0000-0001-9406-3501
Solovyev A.V. orcid.org/0000-0002-3186-9767
The authors declare no conflict of interests
Received June 29, 2017 doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1013eng

Abstract

Nitrogen is a special macronutrient as it comes into soil only with rainfall, remains of living organisms and fertilizers. Changes of apple (*Malus domestica* Borkh) nitrogen supply faster affect the fruit yield and quality as compared to other nutrients. Our paper it the first multivariate study of soil, leaf and fruit mineral status of apple trees on leached chernozem at different ways and sources of nitrogen supply which shows high environmental safety and efficiency of fertigation. The aim of the research was development of a model for optimal nitrogen provision to improve apple tree yielding and fruit quality. Tests with cv. Zhigulevskoe grafted on rootstock 62-396 were carried out in

2014-2016 in the experimental apple orchard planted in 2007 (Michurin Federal Scientific Centre, Tambov Region) at 4.5×1.0 m planting spacing. Each plot comprised 5 trees; all tests were arranged in triplicate. Obtained data were statistically processed by dispersion, correlation and regression analysis. Humus content and soil acidity, abundant of rhizosphere microorganisms, apple tree productivity, and the levels of essential elements in leaves and soil were determined, as well as vitamin C, sugars and organic acids content in fruits. Experimental variants were control 1 (no fertilizers and no irrigation), control 2 (no fertilizers, drip irrigation); subsoil placing of N_{60}, N_{90}, N_{120}, $N_{60}P_{20}K_{60}$, $N_{90}P_{30}K_{90}$, $N_{120}P_{60}K_{120}$; fertigation of N_{15}, N_{25}, N_{35}, $N_{15}P_{12}K_{15}$, $N_{25}P_{20}K_{25}$, $N_{35}P_{25}K_{35}$; Azovit, 4 l/h (cells and spores of *Azotobakter chroococcum* B-9029, 5×10^9 CFU/g), Azovit, 4 l/h + Phosphatovit, 4 l/h (cells and spores of *Bacillus mucilaginosus* B-8966, 0,129 CFU/g). In deep fertilizer placement, the complex NPK but not N increases the apple tree yielding. Fertigation with $N_{35}P_{25}K_{35}$ provides optimal level of all major nutrients in leaves and maximum fruit yield averaged 396.3 c/ha for three years. Single application of N fertilizers unbalances soil nutrient composition by increasing the content of easily hydrolyzed nitrogen, which, in turn, reduces the increase in yield. Complex fertilizing by fertigation and using bacterial preparations ensures the optimum N/P ratio in fruits (6.8), as well as K/N ratio (1.8-1.9). Fertilization by fertigation and in the tree trunk strips reduces the concentration of ascorbic acid in fruits at harvest maturity. N variants, despite the mode of fertilizer application, have the worst impact on vitamin C concentration which was 15-20 % lower compared to the complex fertilization, and the sugar-acid ratios also decreased to 10.7-12.8. Fertigation and use of bacterial fertilizers increase microbiological activity of the soil. As a result, we suggest the model for apple tree yield optimization based on proper use of nitrogen fertilizers. This study shows that the use of bacterial cultures as a temporary alternative to chemical fertilizer improves productivity in intensive apple orchards (up to 327.5 c/ha on average over 3 year experiment).

Keywords: *Malus domestica* Borkh, apple tree, nitrogen nutrition, fertigation, deep fertilizer placement, drip irrigation, yield, fruit quality.

REFERENCES

1. Cooke J.E.K., Weigh M. Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in *Populus*: bridging molecular physiology and ecophysiology; research review. *New Phytol.*, 2005, 167(1): 19-30 (doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01451.x).
2. Coyle D.R, Aubrey D.P., Siry J.P., Volfovicz-Leon R.R., Coleman M.D. Optimal nitrogen application rates for three intensively-managed hardwood tree species in southeastern USA. *Forest Ecol. Manag.*, 2013, 303: 131-142 (doi: 10.1016/j.foreco.2013.04.016).
3. Eroshenko F.V. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 3: 221-224 (in Russ.).
4. Xia G., Cheng L., Lakso A., Goffinet M. Effect of nitrogen supply on source-sink balance and fruit size of “gala” apple trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 2009, 134(1): 126-133.
5. Yasumura Y., Hikosaka K., Hirose T. Nitrogen resorption and protein degradation during leaf senescence in *Chenopodium album* grown in different light and nitrogen conditions. *Funct. Plant Biol.*, 2007, 345(5): 409-417 (doi: 10.1071/FP06307).
6. Trunov Yu.V. *Biologicheskie osnovy mineral'nogo pitaniya yabloni* [Fundamentals of apple tree mineral nutrition biology]. Voronezh, 2016 (in Russ.).
7. Krysanov Yu.V. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 1995, 3: 13-14 (in Russ.).
8. Brunetto G., Bastos De Melo G.W., Toselli M., Quartieri M., Tagliavini M. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticiltura,* 2015, 37(4): 1089-1104 (doi: 10.1590/0100-2945-103/15).
9. Mirabdulbaghi M., Pishbeen M., Effect of different forms and levels of nitrogen on vegetative growth and leaf nutrient status of nursery seedling rootstocks of peach. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*, 2012, 2: 32-44 (doi: 10.3923/ajpnft.2012.32.44).
10. Neilsen G.H., Neilsen D. Nutritional requirements of apple. In: *Apples: botany, production and uses.* D.C. Ferree, I.J. Warrington (eds.). CABI Publ., Cambridge, 2003: 267-302 (doi: 10.1079/9780851995922.0267).
11. Fidler V. V knige: *Fiziologiya plodovykh rastenii* [In: Physiology of fruit plants]. Moscow, 1983: 173-190 (in Russ.).
12. Tartachnik I.I. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 1997, 3: 7-9 (in Russ.).
13. Gudkovskii V.A., Kozhina L.V., Nazarov Yu.B., Balakirev A.E. V sbornike: *Nauchnye osnovy effektivnogo sadovodstva: Trudy Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva im I.V. Michurina* /Pod redaktsiei V.A. Gudkovskogo [Scientific basis for effective gardening: Proceedings of the Michurin All-Russian Research Institute of Horticulture. V.A. Gudkovskii (ed.)]. Voronezh, 2006: 47-64 (in Russ.).
14. Sorki M.S., Babalar. M., Barker A.V., Lesani H., Asgari M.A. Fruit quality and nitrogen, potassium and calcium content of apple as influenced by nitrate: ammonium ratios in tree nutrition. *J. Plant Nutr.*, 2014, 38(10): 1619-1627 (doi: 10.1080/01904167.2014.964364).
15. Wrona D. Response of young apple trees to nitrogen fertilization, on two different soils. *Acta Hortic.*, 2006, 721: 153-158 (doi: 10.17660/actahortic.2006.721.19).

16. Konovalov S.N. *Plodovodstvo i vinogradarstvo na yuge Rossii*, 2011, 11: 56-57 (in Russ.).
17. Savel'ev N.I., Yushkov L.N., Akimov M.Yu., Borzykh N.V., Mironov A.M., Khozhainov A.V. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 2: 12-15 (in Russ.).
18. Tagliavini M., Drahorad W., Dalla Via J. The International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants: Preface. *Acta Hortic.*, 2002, 594: 9 (doi: 10.17660/actahortic.2002.594.0).
19. Zhang Y. *Ascorbic acid in plants: biosynthesis, regulation and enhancement*. Springer, NY, 2013 (doi: 10.1007/978-1-4614-4127-4).
20. Noctor G., Foyer G. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Phys.,* 1998, 49: 249-279 (doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.249).
21. De Castro E., Barrett D.M, Jobling J., Mitcham E.J. Biochemical factors associated with a CO_2-induced flesh browning disorder of Pink Lady apples. *Postharvest Biol. Tec.*, 2008, 48(2): 182-191.
22. Shalata A., Neumann P.M. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.*, 2001, 52(364): 2207-2211 (doi: 10.1093/jexbot/52.364.2207).
23. Ekmekci B.A., Karaman M. Exogenous ascorbic acid increases resistance to salt of *Silubum marianum* (L). *Afr. J. Biotechnol.*, 2012, 11(42): 9932-9940.
24. Sedov E.N., Makarkina M.A, Serova Z.M. Apple breeding for improvement of fruit biochemical composition. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* [*Agricultural Biology*], 2011, 1: 76-84 (in Russ.),
25. Gudkovski V.A., Kuznetsova L.V., Ponomariova N.P. Prognosis of storage quality of apples based on their chemical composition. *Acta Hortic.*, 1990, 274: 175-177 (doi: 10.17660/ActaHortic.1990.274.18).
26. Peterburgskii A.V. *Praktikum po agronomicheskoi khimii* [Practical training on agronomic chemistry]. Moscow, 1968 (in Russ.).
27. Mineev V.G., Sychev V.G., Amel'yanchik O.A., Bolysheva T.N., Gomonova N.F., Durynina E.P., Egorov V.S., Egorova E.V., Edemskaya N.L., Karpova E.A., Prizhukova V.G. *Praktikum po agrokhimii* [Practical training on agrochemistry]. Moscow, 2001 (in Russ.).
28. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* /Pod redaktsiei E.N. Sedova, T.P. Ogol'tsovoi [Program and methods of studying varieties of fruit, berry and nut crops. E.N. Sedov, T.P. Ogol'tsova (eds.)]. Orel, 1999 (in Russ.).
29. Sirotin A.A. *Praktikum po mikrobiologii* [Practical training on microbiology]. Belgorod, 2007 (in Russ.).
30. Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhimii rastenii* [Practical training on plant biochemistry]. Moscow, 1985 (in Russ.).
31. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field trials]. Moscow, 1985 (in Russ.).
32. Gonchar-Zaikin P.P., Chrtov V.G. V sbornike: *Ratsional'noe prirodopol'zovanie i sel'skokhozyaistvennoe proizvodstvo v yuzhnykh regionakh Rossiiskoi Federatsii* [In: Efficient environmental management and agricultural production in the southern regions of the Russian Federation]. Moscow, 2003: 559-564 (in Russ.).
33. Tagliavini M., Millard P. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 2005, 4(1): 21-30.
34. Kuzin A.I., Trunov Yu.V. Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki, 2016, 1: 16-18 (in Russ.).
35. Malaguti D., Rombola A.D., Quartieri M., Lucchi A., Inderst C., Marangoni B., Tagliavini M. Effects of the rate of nutrients by fertigation and broadcast application in “gala” and “fuji” apple. *Acta Hortic.*, 2006, 721: 165-172 (doi: 10.17660/actahortic.2006.721.21).
36. Fomenko T.G., Popova V.P. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*, 2016, 41(05): 151-166 (in Russ.).
37. Lukin S.V., Chetverikova N.S., Erokhovets M.A. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*, 2011, 21(116/17): 95-102 (in Russ.).
38. Tserling V.V. *Diagnostika pitaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Estimation of crop nutrition]. Moscow, 1990 (in Russ.).
39. Kondakov A.K. *Udobrenie plodovykh derev'ev, yagodnikov, pitomnikov i tsvetochnykh kul'tur* [Fertilization of fruit trees, berry, nurseries and flower crops]. Michurinsk, 2006 (in Russ.).
40. Kuzin A.I., Trunov Yu.V., Solov'ev A.V., Tarova Z.N. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, 102: 613-630 (in Russ.).
41. Sedov E.N., Makarkina M.A., Levgerova N.S. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2007, 6(3): 20-24 (in Russ.).
42. Kuzin A.I., Trunov YU.V., Tarova Z.N. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, 111: 1448-1461 (in Russ.).
43. Konovalov S.N., Petrova V.I., Egorova E.V. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2017, 2(9): 138-144 (in Russ.).
44. Wang L., Yang F., E Y., Yuan J., Raza W., Huang Q., Shen Q. Long-term application of bioorganic fertilizers improved soil biochemical properties and microbiological communities of an apple orchard soil. *Front. Microbiol.*, 2016, 7: 1893 (doi: 10.3389/fmicb.2016.01893).