УДК: 634.11:631.415:631.8:631.961 DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.05

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЯБЛОНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ И ТИПА САДА

А.И. Кузин[1,2], д.с.-х.н., Л.В. Степанцова[1], д.б.н., С.А. Карпухина[1,2], В.Н. Назаров[1,2], А.А. Шмакова[1,2], М.В. Маслова[1], к.с.-х.н., Е.В. Грошева[1], И.Н. Шамшин[1], к.б.н., В.Н. Красин[1], к.б.н.
[1]Мичуринский государственный аграрный университет
393760, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101
e-mail: andrey.kuzin1967@yandex.ru
[2]Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина
393774, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-20119

В производственном опыте изучено влияние микробиологических удобрений на кислотность почвы и содержание калия, кальция, магния, фосфора и молибдена в листьях растений яблони при возделывании в интенсивном (1533 дер/га) и традиционном (417 дер/га) типах садов. Полевые эксперименты проводили в насаждениях АО «Дубовое» (Тамбовская обл.). Схема опыта: 1. Контроль (без внесения удобрений в почву); 2. Азафок; 3. Энзимоцид; 4. Нитрагин. Установлено, что максимальный pH *почвы под влиянием микробиологических удобрений был при достижении плодами 90% окончательного размера. Наиболее стабильно значение* pH *почвы в обоих типах садов увеличивалось под влиянием Азафока. На фоне различающейся кислотности влияние микробиологических удобрений на содержание элементов питания в листьях яблони в насаждениях различного типа было вариативным. Применение микробиологических удобрений изменяло характер корреляции между содержанием элементов питания в листьях и* pH *почвы в основном положительно от первого ко второму сроку отбора проб: в условиях традиционного сада подобная трансформация отмечена у калия, кальция, фосфора и молибдена, а в интенсивных насаждениях – у калия, кальция и магния. Содержание молибдена в листьях в интенсивном саду имело тесную положительную корреляцию с показателем* pH *в оба срока отбора проб.*

Ключевые слова: яблоня, микробиологические удобрения, кислотность почвы, содержание элементов питания в листьях.

Для цитирования: *Кузин А.И., Степанцова Л.В., Карпухина С.А., Назаров В.Н., Шмакова А.А., Маслова М.В., Грошева Е.В., Шамшин И.Н., Красин В.Н.* Влияние микробиологических удобрений на содержание микроэлементов в листьях яблони в зависимости от кислотности почвы и типа сада // Плодородие. – 2026. – №3. – С. 27-34.
DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.05.

Содержание элементов питания в черноземных почвах, как общее, так и в доступных для растений формах, достаточно высокое. Больше вопросов возникает в связи с возможностью поглощения тех или иных питательных веществ. Наиболее чувствительны к повышенной кислотности почвы элементы, доступность которых резко снижается из-за блокировки или перехода в труднорастворимые соединения: фосфор, молибден, кальций, магний и калий [9]. Зачастую внесение минеральных удобрений, особенно в сочетании с орошением, приводит к увеличению кислотности черноземных почв [3].

Микробиологические удобрения (МБУ) содержат живые полезные микроорганизмы, которые увеличивают плодородие почвы, делая питательные вещества доступными для растений [18]. В отличие от некоторых других средств, МБУ работают комплексно: они не только улучшают питание, но и могут синтезировать стимуляторы роста, ферменты и подавлять вредные микроорганизмы [11]. Это создает здоровую почвенную экосистему и дает долгосрочный эффект. В литературе есть сведения о том, что внесение МБУ, например, Байкал ЭМ1, способствует увеличению pH почвы [2]. Микробиологические удобрения имеют весьма широкий спектр воздействия, как на растения, так и на сообщество микроорганизмов в ризосфере, что может оказывать влияние на различные аспекты жизнедеятельности растений яблони [10]. Основным отличием микробиологических удобрений является то, что их жизнедеятельность, а значит и эффективность, в значительной степени определяется воздействием внешней среды, в том числе ее кислотностью [19]. В литературе недостаточно данных о влиянии биоудобрений на обеспеченность растений яблони некоторыми макро- и микроэлементами (Ca, K, Mg, P и Mo) в различные фазы вегетации, что необходимо для разработки системы питания в садах яблони на основе внесения МБУ.

Научная новизна данного исследования заключается в том, что внесение МБУ рассматривается на примере двух типов садов с различной агротехникой. За счет разных схем посадки и содержания почвы создаются неодинаковые условия для жизнедеятельности микроорганизмов ризосферы. Проведение параллельных наблюдений за динамикой pH почвы и пяти элементов питания позволяют определить реакцию растений в различных насаждениях и выявить наиболее общий эффект от внесения МБУ.

Цель исследования – изучить влияние микробиологических удобрений на pH_{KCl} и содержание калия, кальция, магния, фосфора и молибдена в листьях яблони.

Методика. Исследования проводили в 2023-2025 г. с использованием научного оборудования ЦКП Мичуринского ГАУ «Селекция сельскохозяйственных культур и

технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения» в АО «Дубовое» Тамбовской области (52°37’ с.ш. и 40°17' в.д.). Почва – чернозем типичный среднемощный тяжелосуглинистый на покровном карбонатном суглинке (табл. 1).

1. Агрохимические показатели почвы опытного участка в слое 0-20 см перед закладкой опыта

Тип сада	Nлг	P_2O_5	K_2O	Гумус, %	pH_{KCl}
	мг/кг				
Традиционный	75,6-114,8	177,9-237,7	101,5-159,6	6,29-7,32	4,98-5,78
Интенсивный	83,4-128,2	161,5-198,2	119,0-164,5	5,66-6,77	5,28-5,86

Участок с сортом яблони Рождественское (интенсивный сад): посадка 2012 г., подвой 62-396, схема посадки 4,5 х 1,45 м (1533 дер/га), сад оборудован шпалерой и системой капельного орошения. Участок с сортом яблони Ветеран: посадка 2010 г., подвой 54-118, схема посадки 6 х 4 м (417 дер/га). Объекты исследований – деревья яблони, микробиологические удобрения МБУ. Опыт проводили по общепринятой методике [7]. Повторность опыта трехкратная, число деревьев в опытной делянке – 50, число деревьев в варианте – 150. Общая площадь опытного участка 2 га для каждого типа сада.

Схема опыта: 1. Контроль 1 (без внесения удобрений в почву); 2. Азафок; 3. Энзимоцид; 4. Нитрагин. Характеристика МБУ: Азафок – 4 л/га$^{-1}$ (*Bacillus aryabhattai* BR4 (ВКПМ В-3579), *Paenibacillus polymyxa (*ВКМ В-747)*, Paenibacillus mucilaginosus* 27 (ВКПМ В-13582), общий титр не менее 1 · 10^9 КОЕ мл$^{-1}$; Энзимоцид – 0,2 кг/га$^{-1}$ (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescents*; общий титр не менее 3 · 10^6 КОЕ г$^{-1}$; Нитрагин 0,5 л/га$^{-1}$ (*Bradyrhizobium japonicum*, общий титр не менее 1 · 10^9 КОЕ г$^{-1}$). Удобрения вносили 3 раза в течение вегетации: 12-15.05, 26-30.05, 07-11.07 садовым гербицидным опрыскивателем ОП-П-Г 2000, норма внесения – по рекомендациям производителей. Почву отбирали в приствольной полосе (в слое 0-20 см) 4 раза в течение сезона – перед началом вегетации, во время цветения, в фазе роста и развития плодов, по достижении плодами 90% их окончательного размера. Показатель pH определяли в вытяжке KCl на pH-метре Эксперт-001. Образцы листьев отбирали из середины однолетнего прироста в средней части кроны. В листьях определяли содержание калия, кальция, магния и фосфора рентгенофлуоресцентным методом (АДК Призма-М), и молибдена атомно-адсорбционным методом (МГА-915MD) [5]. Урожайность и среднюю массу плода устанавливали весовым методом.

Погодные условия (температура воздуха и распределение осадков по декадам представлены на рисунке 1. Зимний период 2024/2025 года (декабрь и январь) характеризовался частыми оттепелями и малоснежьем, земля не была промерзлой, и большая часть зимних осадков впиталась в почву. Февраль, напротив, характеризовался низкими температурами и небольшим количеством осадков. В этот период пополнения почвенных запасов влаги не было. Холодный февраль сменился достаточно теплым (со второй декады дневные температуры поднимались до 20°С) мартом. Такие высокие дневные температуры могли стать причиной повышенного расхода влаги из почвы [количество осадков 25,8 мм, что немного ниже среднемноголетней нормы (31 мм)], а высота снежного покрова была меньше обычной (максимум 19 см в феврале) и к 08.03.2026 снеготаяние завершилось.

С начала мая установилась теплая погода. Максимальное количество осадков отмечено в июне. В первую декаду июня выпало 72,6 мм, во 2- и 3-ю декады также было много садков. В июле количество осадков уменьшилось и выпадающие дожди полностью не компенсировали расход влаги из почвы. Снижение запасов влаги в почве проходило достаточно плавно. Этому способствовали высокие (выше 25-30°С) дневные температуры. В сентябре установилась устойчивая засуха. Расход влаги из почвы перестал компенсироваться за счет выпадающих осадков.

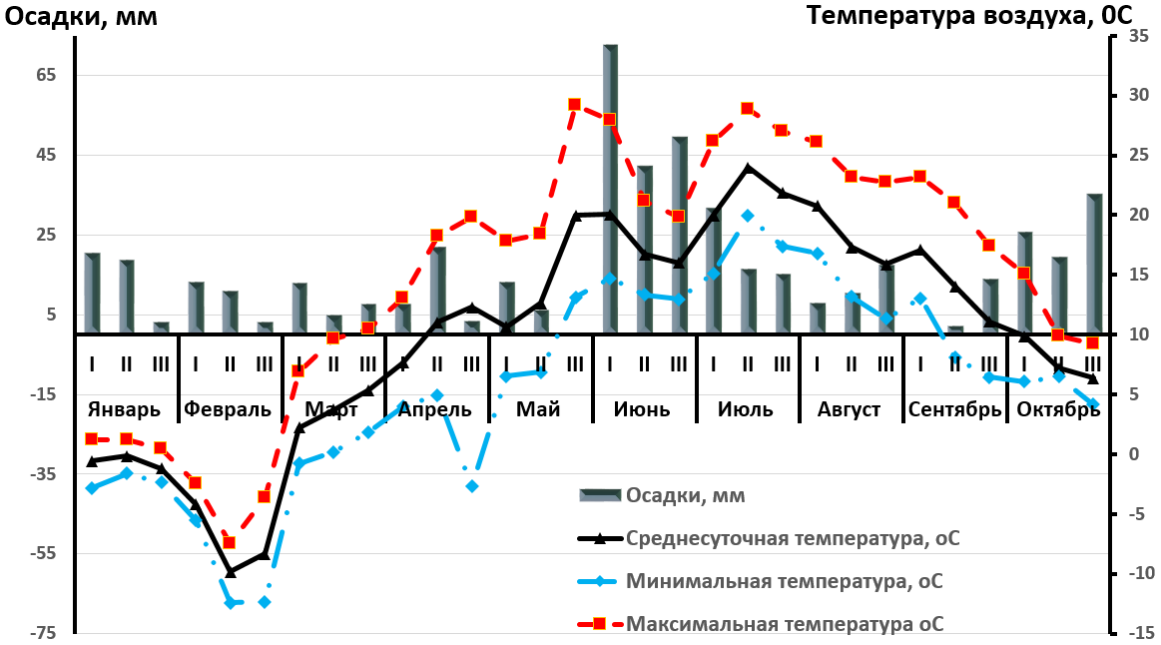

Рис.1. Погодные условия в 2025 г.

Данные, полученные в ходе исследований, проанализировали методом дисперсионного анализа [1] и рассчитали корреляцию Пирсона с использованием MS Excel 2013.

Результаты и их обсуждение. Внесение МБУ оказало существенное влияние на изменение pH_{KCl} в течение вегетации (рис.2 *А* и 2 *Б*). Следует отметить, что в сезонных изменениях показателя pH_{KCl} были различия по вариантам опытов. Внесение МБУ Азафок оказывало похожее воздействие на pH почвы как в традиционном, так и в интенсивном саду. В этих вариантах наблюдалось значительное увеличение pH с пиком к достижению плодами 90% их окончательного размера, а затем он снижался к концу сезона. Подобный характер изменения кислотности почвы к концу сезона наблюдался во всех вариантах опыта в обоих типах садов.

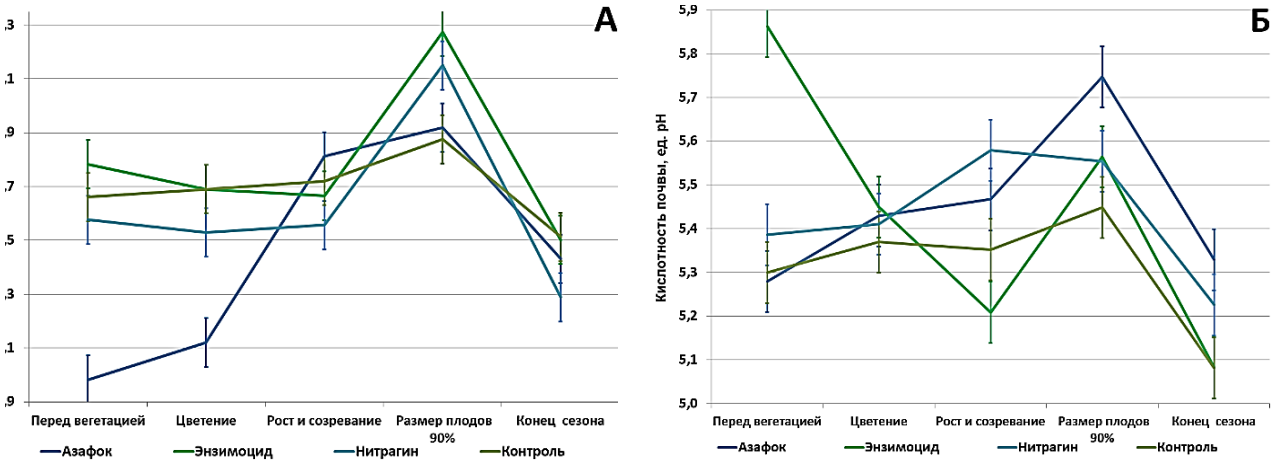

Рис. 2. Динамика изменения pH_{KCl} почвы в течение вегетации при внесении МБУ в традиционном (*А*) и интенсивном (*Б*) садах

В саду с объемными кронами (традиционном) схожий характер влияния на pH отмечен во всех вариантах опыта, в том числе и на контроле, хотя здесь пиковое значение выражено не столь четко. В интенсивном саду при внесении Азафока и Нитрагина также наблюдали подобный эффект. Только в случае с Нитрагином пик в фазе роста и созревания плодов был выражен нечетко, а затем начиналось снижение, которое было достаточно резким после прохождения фазы размера плодов 90% от окончательной величины. В варианте с внесением Энзимоцида pH_{KCl} резко снижался вплоть до минимального уровня в целом по опыту в интенсивном саду, затем был пик и снова резкое снижение. Поскольку на контроле отмечалась схожая динамика pH с пиковым повышением показателя в августе, причем в обоих типах насаждений, то эти изменения кислотности не связаны с действием МБУ. Наиболее вероятной причиной подобной динамики может быть сезонная миграция карбонатов с восходящим или нисходящим током почвенной влаги [6]. Как видно из графика осадков (рис. 1), интенсивное иссушение почвы и соответственно восходящие капиллярные потоки наблюдались дважды – апрель-май и август-сентябрь. В периоды засух происходили насыщение ППК кальцием и снижение кислотности почвы. Напротив, в июне из-за выпавших дождей с нисходящим потоком кальций может уходить вниз и соответственно pH немного снижается.

Таким образом, результаты по изучению влияния удобрений на сезонные колебания pH в какой-то мере подтвердили тезис о необходимости различных подходов к внесению МБУ в разных типах садов яблони. Если нет каких-то специальных задач, то следует подбирать биоудобрения с наиболее универсальным характером действия в различных типах насаждений, как в данных исследованиях показал себя Азафок.

Содержание калия в листьях яблони сорта Ветеран в традиционном саду (рис. 3А) увеличивалось под влиянием МБУ, что особенно заметно при втором отборе проб в августе.

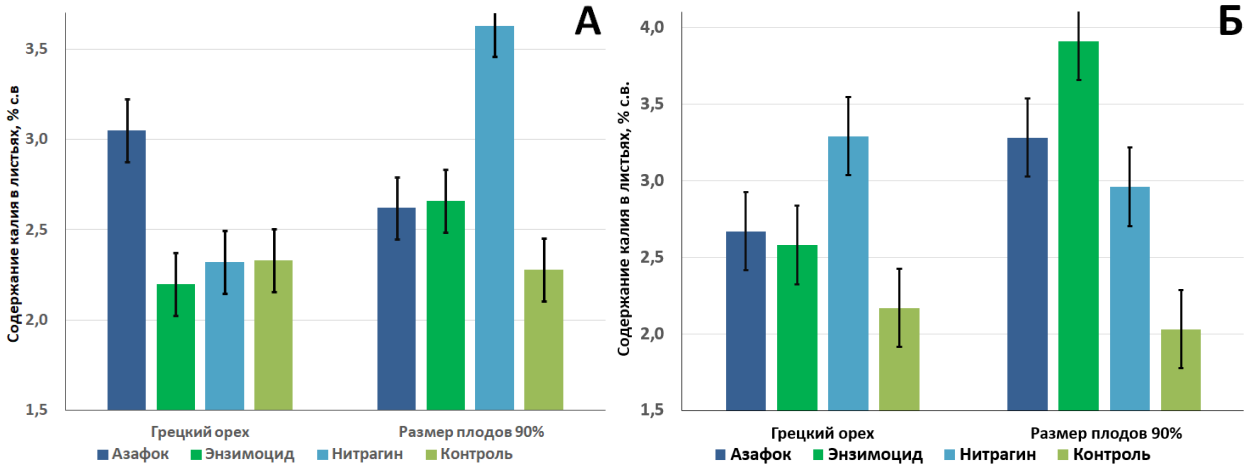

Рис. 3. Содержание калия в листьях яблони при внесении МБУ в традиционном (*А*) и интенсивном (*Б*) садах

Наиболее быстрое воздействие на увеличение содержания калия в листьях оказало внесение Азафока (3,05% с.в.). Только в этом варианте содержание калия в листьях в июне было значительно выше, чем на контроле (и во всех остальных вариантах опыта на сорте Ветеран). В августе максимальное содержание калия в листьях в традиционном саду было при внесении МБУ Нитрагина (3,63% с.в.).

Внесение всех изученных МБУ в интенсивном саду способствовало существенному увеличению содержания калия в листьях уже к первому сроку отбора проб (рис. 3Б), в августе разница между содержанием нутриента в листьях экспериментальных вариантов и контроля увеличилась еще больше. В июне максимальное содержание калия в листьях было при внесении Нитрагина (3,39% с.в.), а в августе – Энзимоцида (3,91% с.в.). Наиболее высокая потребность в калии у растений яблони наблюдается в фазы роста и созревания плодов, поскольку содержание калия в них заметно выше, чем других основных элементов питания (азота и фосфора). С этой точки зрения наиболее перспективно внесение Нитрагина в традиционных насаждениях и Энзимоцида в интенсивных. В то же время наиболее стабильное воздействие на содержание калия в целом в оба срока отбора проб среди изученных МБУ оказывал Азафок в обоих типах насаждений.

Содержание кальция в листьях яблони в традиционном саду увеличивалось при внесении изученных МБУ уже к первому отбору проб (рис. 4*А*). Среди вариантов с внесением удобрений выделялись Азафок (0,74% с.в.) и Нитрагин (0,76% с.в.). Ко второму отбору проб содержание нутриента еще более увеличилось при внесении удобрений. Максимальное содержание отмечено при внесении Азафока (1,01%% с.в.). Внесение Энзимоцида (0,84% с.в.) способствовало существенному увеличению содержания кальция по сравнению с вариантами Нитрагин (0,76% с.в.) и контроль (0,60% с.в.).

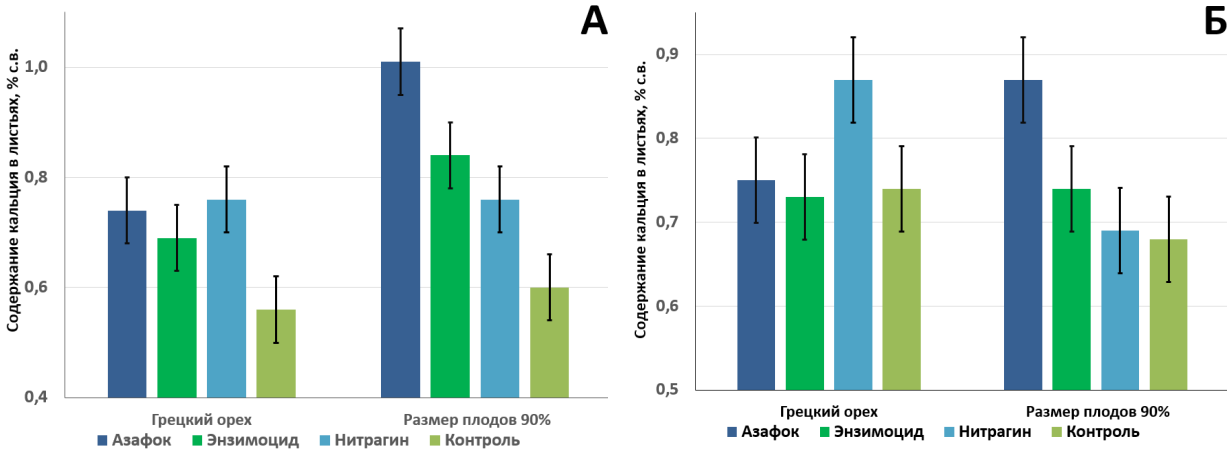

Рис. 4. Содержание кальция в листьях яблони при внесении МБУ в традиционном (*А*) и интенсивном (*Б*) садах

В интенсивном саду при первом сроке отбора проб максимальная концентрация кальция в листьях была при внесении Нитрагина (0,87% с.в.), а при втором – Азафока (0,87% с.в.) (рис. 4*Б*).

Кальций является критическим элементом питания для обеспечения хорошей лежкости плодов при длительном хранении. Основное количество кальция поглощают корни, но из-за определенной конкуренции с ионами калия, магния, и других факторов, растения могут испытывать определенный дефицит. Наиболее высокая потребность в кальции у листьев, именно туда он распределяется в первую очередь. С этой точки зрения весьма перспективно существенное увеличение содержания кальция в листьях яблони в обоих типах насаждений при втором сроке отбора проб при внесении Азафока.

Содержание магния в листьях сорта Ветеран в условиях традиционного сада к первому отбору образцов значительно увеличивалось при внесении МБУ (рис. 5*А*). При этом максимальная концентрация в листьях была при внесении Энзимоцида (0,57% с.в., что существенно выше, чем во всех остальных вариантах опыта). При втором отборе образцов максимальное содержание магния отмечено при внесении Азафока (0,63% с.в.), однако в варианте с применением Энзимоцида (0,50% с.в.) концентрация нутриента также была существенно выше, чем на контроле (0,42% с.в.). В варианте с внесением Нитрагина (0,29% с.в.) содержание магния в августе было минимальным в опыте и при этом значительно ниже, чем на контроле.

В условиях интенсивного сада влияние МБУ на содержание магния в листьях яблони было несколько иным. Максимальное содержание нутриента в листьях при первом отборе проб было на контроле (0,51% с.в.) и значительно выше, чем в других вариантах (рис. 5*Б*). Среди вариантов с МБУ выделялся Азафок (0,41% с.в.), при внесении которого концентрация нутриента была значительно выше, чем Энзимоцида и Нитрагина. Ко второму отбору проб содержание магния в листьях снижалось. Между вариантами Азафок (0,31% с.в.), Энзимоцид (0,30% с.в.) и контроль (0,29% с.в.) не наблюдалось существенных различий. При внесении Нитрагина (0,43% с.в.) содержание нутриента значительно увеличилось.

Период наиболее высокой потребности в магнии совпадает с фазой роста побегов. С этой точки зрения наиболее интересны результаты внесения Энзимоцида в традиционном саду. Однако в интенсивных насаждениях МБУ, внесенные в начале вегетации, не оказали существенного влияния на содержание магния в листьях.

Удобрения оказали статистически достоверное влияние на содержание фосфора только в условиях традиционного сада (рис. 6*А*). К первому сроку отбора проб максимальная концентрация нутриента в листьях была в варианте Энзимоцид (0,80% с.в.), а при втором отборе

образцов при внесении всех изученных МБУ содержание фосфора было значительно выше, чем на контроле. В интенсивном саду на содержание фосфора в листьях яблони внесенные МБУ не оказали видимого воздействия (рис. 6*Б*). Следует отметить, что уровень содержания доступного для растений фосфора в почве во всех вариантах опыта можно характеризовать как высокий (см. табл.1). Это объясняет и повышенный уровень содержания фосфора в листьях, а также отсутствие сильной реакции на внесение удобрений.

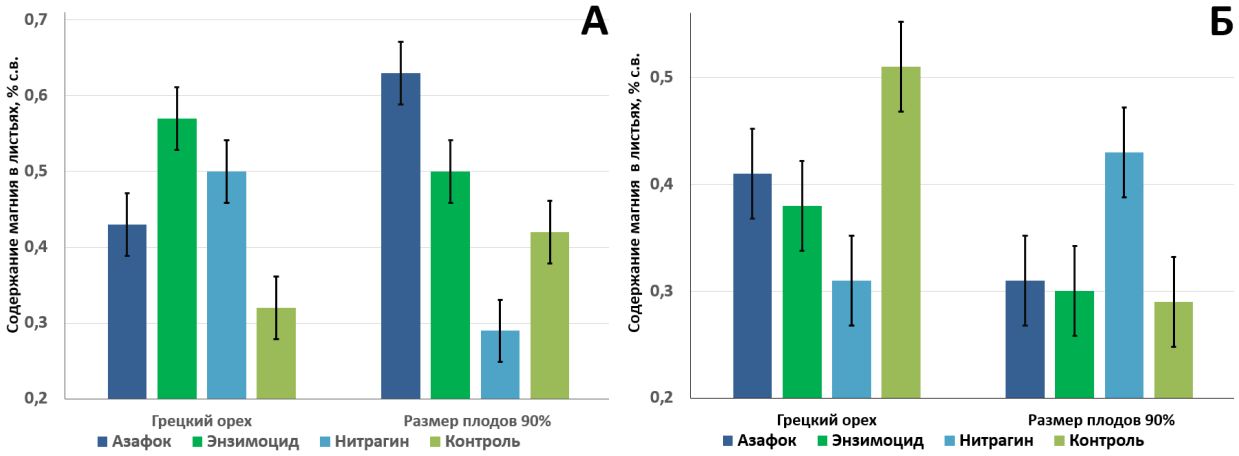

Рис. 5. Содержание магния в листьях яблони при внесении МБУ в традиционном (*А*) и интенсивном (*Б*) садах

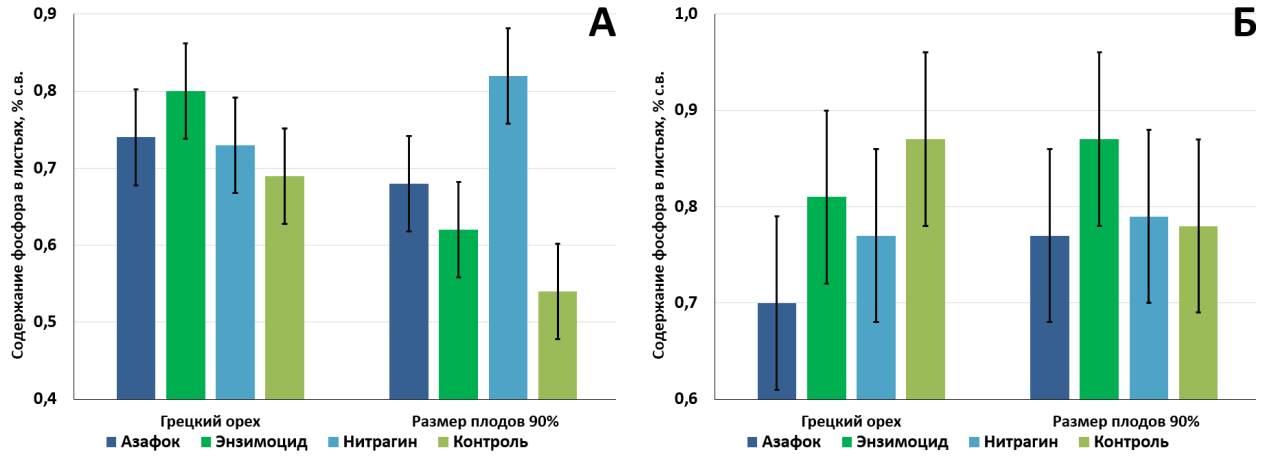

Рис. 6. Содержание фосфора в листьях яблони при внесении МБУ в традиционном (А) и интенсивном (Б) садах

Наиболее высокая потребность яблони в фосфоре отмечается в период цветения, именно в этой фазе прослеживается четкая корреляция между содержанием нутриенте и урожайностью яблони [4]. В данном случае следует отметить, что в традиционном саду было положительное воздействие МБУ Энзимоцид на концентрацию фосфора в листьях, а при внесении остальных биоудобрений не было существенного влияния, тогда как в условиях интенсивного сада при внесении всех изученных МБУ наблюдалась четкая тенденция к снижению концентрации фосфора, причем в вариантах Азафок и Нитрагин этот эффект был существенным. Итак, наиболее стабильным в опытах было воздействие Энзимоцида и данное МБУ можно рекомендовать для дальнейших исследований на почвах с низким содержанием доступного фосфора.

При первом отборе проб максимальное содержание молибдена в листьях яблони в традиционном саду отмечено на контроле, в вариантах с внесением МБУ оно было существенно ниже (рис. 7*А*). Среди вариантов с внесением удобрений в июне наиболее высокая концентрация нутриента была при использовании Азафока (0,278 мг/кг). Ко второму отбору проб содержание нутриента в целом несколько повысилось (исключением был контроль – 0,153 мг/кг), где концентрация нутриента значительно уменьшилась по сравнению с первым отбором. Максимальное содержание молибдена было при внесении Нитрагина (0,190 мг/кг), также выделялся вариант с использованием Азафока (0,164 мг/кг).

Содержание молибдена в листьях яблони в интенсивном саду, а также характер изменений заметно отличались от показателей в традиционных насаждениях. К первому отбору проб содержание молибдена было максимальным при внесении Азафока (0,210 мг/кг), несколько ниже, но в пределах ошибки опыта, концентрация нутриента была при использовании Энзимоцида (0,190 мг/кг) (рис. 7Б). Ко второму сроку отбора проб содержание молибдена значительно снижалось во всех вариантах опыта по сравнению с первым. Максимальная концентрация нутриента при этом отмечена в варианте Азафока (0,156 мг/кг). Также относительно высокое содержание молибдена, хотя и существенно меньше, было при использовании Энзимоцида (0,122 мг/кг).

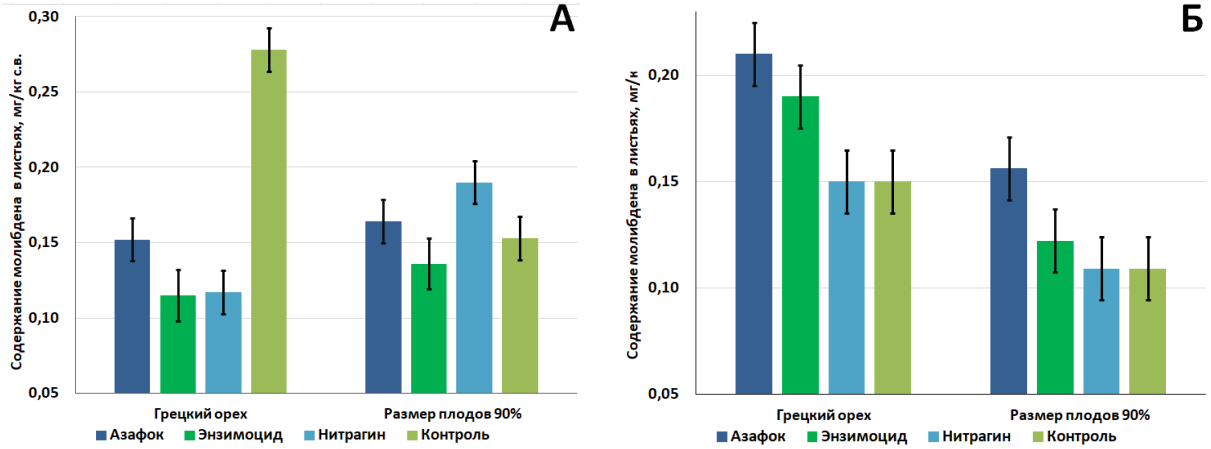

Рис. 7. Содержание молибдена в листьях яблони при внесении МБУ в традиционном (*А*) и интенсивном (*Б*) садах

Молибден имеет два периода с пиковой потребностью: период активного роста побегов и период созревания плодов [12]. Таким образом, оба срока отбора проб имеют большое значение для оценки обеспеченности растений молибденом. В условиях опыта существенное влияние МБУ на содержание Mo в листьях наблюдали только в интенсивном саду, поэтому при планировании внесения удобрений в традиционных насаждениях необходимо предусмотреть некорневые подкормки молибденсодержащими агрохимикатами как минимум в фазе активного роста побегов.

Для того, чтобы оценить взаимосвязь между содержанием элементов в листьях, кислотностью почвы и типом сада был проведен корреляционный анализ отдельно по каждому сроку отбора, который дал результаты, представленные на рисунке 8*А*. Следует отметить, что они не в полной мере соответствовали показателям литературных источников. Так, в традиционном саду между содержанием кальция и калия в листьях, а также показателем pH почвы наблюдалась отрицательная корреляция. Хотя в литературе имеются сведения, что при низком pH почвы калий сталкивается с повышенной конкуренцией из-за высокой концентрации ионов водорода, которые вытесняют другие обменные катионы (включая калий), переводят их в почвенный раствор. Это увеличивает риск их вымывания и снижает доступность для растений [13]. Между содержанием магния, фосфора и молибдена в листьях, а также показателем pH почвы не наблюдали значимой корреляции. В условиях интенсивного сада между содержанием магния, фосфора в листьях и pH почвы прослеживалась заметная отрицательная корреляция, но между количеством кальция и показателем pH значимой взаимосвязи не наблюдали. Только с содержанием молибдена в листьях была отмечена тесная положительная корреляция.

При втором отборе проб наблюдалась несколько иная картина взаимосвязи между содержанием отдельных элементов питания и pH почвы (рис. 8Б). В условиях традиционного сада отсутствовала значимая корреляция между содержанием кальция, магния, молибдена и кислотностью почвы. Между содержанием калия и фосфора прослеживалась относительно слабая положительная корреляция.

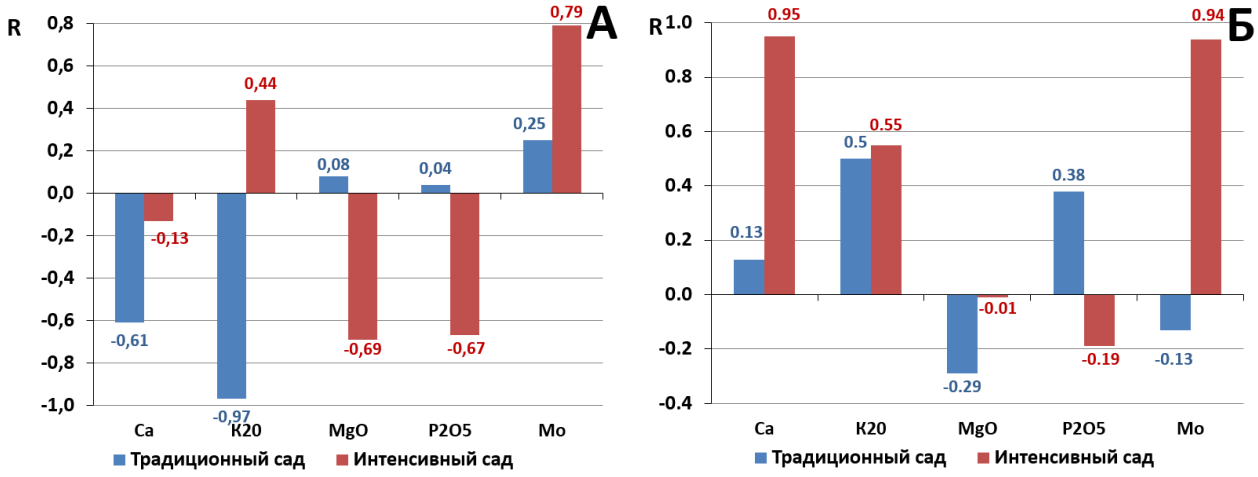

Рис. 8. Коэффициенты корреляции между pH почвы и содержанием кальция, калия, магния, фосфора и молибдена в листьях яблони при первом (фаза грецкий орех) (*А*) и втором (*Б*) отборах (размер плодов 90% от окончательной величины)

Еще большие изменения во взаимосвязях наблюдали при анализе образцов из интенсивного сада. Тесная положительная корреляция отмечена между pH почвы и содержанием кальция и молибдена в листьях (в литературе есть сведения о том, что увеличение кислотности приводит к уменьшению содержания обменного кальция в почве [8]). Также прослеживалась некоторая положительная взаимосвязь между содержанием в листьях калия и pH, однако с концентрацией фосфора в листьях и pH почвы заметной корреляции не наблюдали.

Первый отбор проб листьев проводили примерно через 1 мес после первоначального внесения МБУ. Через 1 мес после первого отбора проводили второй. Его срок приходился на период после третьего полива

микробиологическими препаратами. Очевидно, в данном случае можно говорить о более продолжительном воздействии изучаемых МБУ на параметры почвенного плодородия и состояние растений.

Чтобы оценить это воздействие в таблице 2 представлены изменения значений коэффициентов корреляции от первого ко второму сроку отбора проб. В соответствии с ΔR видно, что внесение МБУ усиливало положительную взаимосвязь между pH почвы и содержанием кальция в листьях, причем в обоих типах насаждений. Также подобный эффект МБУ прослеживался и при рассмотрении взаимосвязи между pH почвы и концентрацией калия, который проявился в основном в традиционном саду. Следует отметить, что в интенсивном саду как при первом, так и при втором отборах проб прослеживалась положительная корреляция средней степени взаимодействия.

2. Изменение коэффициентов корреляции (ΔR) ко второму сроку отбора проб в садах различного типа

Тип сада	Ca	K_2O	MgO	P_2O_5	Mo
Традиционный	+0,74	+1,47	-0,37	+0,34	-0,38
Интенсивный	+1,08	+0,11	+0,68	+0,48	+0,15

ΔR между содержанием магния и фосфора в листьях и pH почвы не показало какой-либо однозначной тенденции, которая прослеживалась бы под влиянием МБУ. Определенные изменения в корреляционных взаимосвязях между содержанием магния и pH прослеживались в интенсивном саду, где при втором отборе не было сколько-нибудь значимой корреляции, однако при первом отборе зависимость была отрицательной. Есть публикации [17], в которых показано, что увеличение кислотности почвы приводило к значительному снижению обменного магния в почве и в тканях растений. Вероятно, на фоне достаточно высокого уровня pH почвы в опыте не наблюдали подобного эффекта.

Применение МБУ также усиливало характер положительной взаимосвязи между pH почвы и содержанием фосфора в листьях ко второму отбору. В публикациях в отечественной и зарубежной литературе показано, что по мере снижения pH почвы происходит увеличение фиксации фосфатов ионами железа, а при pH 4,2 и ниже ионами алюминия [14].

Наиболее стабильный характер корреляционных взаимосвязей отмечен между содержанием в листьях молибдена и pH почвы. Здесь не было заметных изменений между первым и вторым отборами в обоих типах насаждений, хотя в садах разного типа характер корреляций сильно отличался друг от друга. В традиционном саду не наблюдали значимую корреляцию ни при первом, ни при втором отборах, тогда как в интенсивных насаждениях взаимосвязь была тесной положительной в обоих случаях. В публикациях отмечается очень тесная зависимость доступности молибдена в почвах от pH, так как при pH <5,5 доступность молибдена значительно снижается из-за повышенной адсорбции ионов MoO_4^{2-} (легкодоступных растениям) на положительно заряженных оксидах железа [16]. В обзоре [15] по различным источникам приводятся сведения о том, что уже при pH 5,5-6,5 ед. его доступность следует оценивать как среднюю или ниже средней, т.е. изменение значения pH почвы под влиянием МБУ способствовало улучшению поглощения молибдена.

Заключение. Максимальное значение pH почвы под влиянием МБУ отмечено к фазе достижения плодами 90% окончательного размера. Наиболее стабильно значение pH почвы в обоих типах садов увеличивалось под влиянием Азафока, однако это могло быть влиянием не только удобрений, но и природных факторов. К окончанию сезона pH почвы снижался до первоначального уровня. На фоне различающейся кислотности влияние внесения МБУ на содержание элементов питания в листьях яблони в насаждениях различного типа было вариативным. Применение МБУ изменяло характер корреляции между содержанием элементов питания в листьях в основном в положительную сторону от первого ко второму сроку отбора проб: в условиях традиционного сада подобна трансформация отмечена у калия, кальция, фосфора и молибдена, а в интенсивных насаждениях – у калия, кальция, магния. Содержание молибдена в листьях растений яблони в интенсивном саду имело тесную положительную корреляцию с показателем pH в оба срока отбора проб. По результатам исследований, для улучшения обеспеченности калием и кальцием наиболее перспективным представляется использование Азафока. Поскольку изученные микробиологические удобрения показали достаточно высокую вариабельность воздействия, что не приемлемо в промышленном садоводстве, то для стабилизации обеспечения растений элементами питания необходимо комбинировать внесение МБУ с внесением сниженной дозы минеральных удобрений в почву и некорневыми подкормками. Это будет направлением наших дальнейших исследований.

Литература

1. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований. – М.: Колос, 1985. – 351 с.
2. *Кузин А.И., Каширская Н.Я., Свиридов Г.Б. и др.* Влияние микробиологического удобрения на основе консорциума микроорганизмов на режим питания и урожайность яблони в интенсивном саду // Садоводство и виноградарство. – 2025. – № 5. – С. 14-22. DOI: 10.31676/0235-2591-2025-5-14-22
3. *Кузин А.И., Пугачев Г.Н., Кушнер А.В. и др.* Влияние фертигации минеральными удобрениями на сезонные изменения pH_{KCl} лугово-черноземной почвы в саду яблони // Плодоводство и ягодоводство России. – 2024. – Т. 78. – С. 70-83. DOI: 10.31676/2073-4948-2024-78-70-83
4. *Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьев А.В. и др.* Уточнение параметров листовой диагностики фосфорного питания в различные периоды вегетации яблони в Центральном Черноземье // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – Т. 53. – С. 128-135.
5. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амельянчик О.А. и др.* Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
6. *Морозов И.В., Безуглова О.С., Минаева Е.Н.* О формировании карбонатного горизонта черноземов обыкновенных Нижнего Дона // Живые и биокосные системы. – 2017. – № 22. – Ст. № 10.
7. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур // РАСХН, ВНИИ селекции плодовых культур/ Под. ред. Е. Н. Седова. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 606 с.
8. *Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Леоничева Е.В.* Динамика кислотности и содержания обменных катионов кальция и магния в агросерой почве вишневого сада при длительном применении минеральных удобрений // Плодородие. – 2025. – №3. – С. 8-11. DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.02.
9. *Bhardwaj A.K., Arya G., Kumar R. et al.* Switching to nanonutrients for sustaining agroecosystems and environment: the challenges and benefits in moving up from ionic to particle feeding // Journal of Nanobiotechnology. – 2022. – Vol. 20(1). – Art. No.19. DOI:10.1186/s12951-021-01177-9
10. *Chen Q, Song Y., An Y. et al.* Mechanisms and Impact of Rhizosphere Microbial Metabolites on Crop Health, Traits, Functional Components: A Comprehensive Review // Molecules. – 2024. – Vol. 29(24). – Art. No. 5922. DOI: 10.3390/molecules29245922.
11. *Kour D., Rana K.L., Yadav A.N et al.* Microbial Biofertilizers: Bioresources and Eco-Friendly Technologies for Agricultural and Environmental Sustainability // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2020. – Vol. 23. – Art. No. 101487. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101487
12. *Kuzin, A. I., Koushner, A. V., Stepantsova* et al. Seasonality in Apple Leaf Molybdenum Contents During the Growing Season and Stages of

Greatest Need in This Nutrient // Horticulturae. – 2025. – Vol. 11(5). – Art. No. 510. DOI: 10.3390/horticulturae11050510
13. *O'Kennedy S.* Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth // International Journal of Geography, Geology and Environment. – 2022. – Vol. 4(2). – P. 236-238.
14. *Penn C.J., Camberato J.J.* A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants // *Agriculture.* – 2019. – Vol. *9*. – Art. No. 120. DOI: 10.3390/agriculture9060120
15. *Rana, M., Sankhyan, N.K., Thakur, P. et al.* Molybdenum in soil-plant system: bioavailability, dynamics and implications for sustainable crop production // Discover Soil. – 2025. – Vol. 2. – Art. No. 89. DOI: 10.1007/s44378-025-00118-4
16. *Shi Y., Yu Y., Xiang M. et al.* Changes in molybdenum bioaccessibility in four spiked soils with respect to soil pH and organic matter // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 334. – Art. No. 117476. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117476
17. *Wang T., Yu L., Wang Z. et al.* Effect of simulated acidification on soil properties and plant nutrient uptake of eggplant in greenhouse // Frontiers in Plant Science. – 2025. – Vol. 16. – Art. No. 1558458. DOI: 10.3389/fpls.2025.1558458
18. *Wang T., Xu J., Chen J. et al.* Progress in Microbial Fertilizer Regulation of Crop Growth and Soil Remediation Research // *Plants.* – 2024. – Vol. *13*. – Art. N. 346. DOI: 10.3390/plants13030346
19. Zhang Z., Cui, Y., Wang, Z. *et al.* Unlocking the potential of biofertilizer: Soil microbial contributions to nutrient availability and vegetable yield // Plant and Soil. – 2025. – Vol. 515. – P. 1599–1612. DOI: 10.1007/s11104-025-07680-4

THE INFLUENCE OF MICROBIOLOGICAL FERTILIZERS ON THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN APPLE TREE LEAVES DEPENDING ON SOIL ACIDITY AND ORCHARD TYPE

A.I. Kuzin[1,2], L.V. Stepantsova[1], S.A. Karpukhina[1,2], V.N. Nazarov[1,2], A.A. Shmakova[1,2], M.V. Maslova[1], E.V. Grosheva[1], I.N. Shamshin[1], V.N. Krasin[1]
[1]Michurinsk State Agrarian University
393760, Russia, Tambov Region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101
e-mail: andrey.kuzin1967@yandex.ru
[2]I.V. Michurin Federal Scientific Center
393774, Russia, Tambov Region, Michurinsk, Michurina Str., 30

The effect of microbial fertilizers on soil acidity and the content of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and molybdenum in apple leaves was studied in a field experiment in commercial orchards (in intensive (1533 trees/ha) and traditional (417 trees/ha) plantings). The field experiment was conducted in JSC "Dubovoe" in the Tambov region. The experimental design: 1. Control 1 (no fertilizer applied to the soil); 2. Azafok; 3. Enzymocid; 4. Nitragin. The research showed that microbial fertilizers raised soil pH to its maximum by the "fruits about 90% final size" phase. Soil pH increased most consistently in both orchard types with Azafok treatment. Against varying soil acidity, microbial fertilizers affected leaf nutrient contents distinctly in the different plantings. Microbial fertilizers shifted leaf nutrient and soil pH correlations positively from the first to second sampling: in traditional orchards (K, Ca, P, and Mo) and intensive plantings (K, Ca, Mg). In the intensive orchard, Mo in apple leaves strongly positively correlated with soil pH at both sampling periods.
Keywords: apple tree, microbial fertilizers, soil acidity, leaf nutrient content.