

ПРИЕМЫ БИОЛОГИЗАЦИИ АГРОЦЕНОЗА ПЕРСИКА (*Prunus persica* (L.) Batsch) В ПРЕДГОРНОМ КРЫМУ[§]

© 2025 г. О. Е. Клименко^{1,*}, Н. Н. Якушева², А. В. Струченко¹, А. И. Дубина³

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
298648 Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52, Республика Крым, Россия

²Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма
295043 Симферополь, ул. Киевская, 150, Республика Крым, Россия

³Индивидуальный предприниматель
298413 с. Отрадное, Бахчисарайский р-н, Республика Крым, Россия

*E-mail: olga.gnbs@mail.ru

В многолетнем двухфакторном полевом опыте изучили влияние приемов биологизации на состояние агроценоза персика в предгорье Крыма (с. Отрадное Бахчисарайского р-на) на черноземах обыкновенных карбонатных эродированных. Исследования проводили в 2019–2021 гг., сорт персика (*Prunus persica* (L.) Batsch) Редхавен на подвое миндаля (*P. dulcis* (Mill.) D.A. Webb). Исследовали 2 приема биологизации агроценоза: задернение почвы сеgetальными и искусственными злаково-бобовыми смесями трав и внесение микробных препаратов (МП) как биоудобрений – Азотобактерин 07-Агро (АБ) и Микробиоком-Агро (МБК). Установлено, что как задернение почвы, так и МП положительно влияли на свойства почвы, травянистые и древесные растения. Более значительное их действие выявлено при совместном использовании. Максимальное накопление биомассы трав произошло в варианте задернения смесью трав (*Festuca pratensis* Huds. + *Trifolium pratense* L. + *Lolium multiflorum* Lam. + *Medicago sativa* L. + *Bromus inermis* Leyss.) (СТ4) в сочетании с АБ, что в 3 раза превышало задернение естественной растительностью без МП (контроль естественного задернения (ЕЗ)). В биомассе сеяных трав содержалось больше основных элементов питания и углерода, соотношение углерода к азоту было меньше, чем в сеgetальной растительности, что способствовало быстрой ее минерализации с образованием минерального азота, а увеличение содержания углерода приводило к более значительному росту содержания почвенного органического вещества (ПОВ) по сравнению с естественным задернением. МП на фоне сеяных трав стимулировали накопление ПОВ в почве, в большей мере АБ на фоне задернения смесью СТ4. Содержание подвижных форм элементов питания в почве при биологизации возрастало: нитратного азота – на 12.5 мг/кг при действии АБ на фоне задернения смесью *F. pratensis* + *T. pratense* (СТ3), подвижного фосфора – на 13 мг/кг под влиянием МБК, К₂О – на 93 и 117 мг/кг при внесении АБ и МБК соответственно по сравнению с контролем ЕЗ. Все это способствовало улучшению минерального питания персика, увеличению содержания основных элементов питания в листьях: азота – на 0.9% под действием АБ на фоне СТ4, фосфора – на 0.07–0.09% под влиянием АБ и МБК на фоне СТ3 и калия – на 0.6% при внесении АБ на том же фоне. Все это содействовало увеличению урожая плодов персика на 9–10 т/га при применении МП на фоне задернения смесью СТ3, а также увеличению содержания азота, фосфора и калия в плодах. Содержание кальция в плодах при биологизации снижалось, что было обусловлено большим поглощением кальция сеянными травами и антагонизмом кальция с азотом и фосфором в плодах. Построенная модель урожайности растений персика при биологизации отражала зависимость продуктивности персика от содержания элементов в травах, почве и листьях. На основании изученного комплекса факторов установлено, что при биологизации агроценоза персика оптимальным является задернение почвы смесью СТ3 и применения АБ.

Ключевые слова: агроценоз, персик, приемы биологизации, задернение почвы, плодородие, минеральное питание, состав плодов, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188125030028, **EDN:** UQUMMP

[§] Работа выполнена в рамках Государственного контракта FNNS-2022-0005 “Принципы и технологии создания экологически ориентированных, ресурсо- и почвосберегающих высокопродуктивных агроэкосистем (плодовых насаждений) для почвенно-климатических условий Крыма и юга России”.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация производства привела к увеличению продуктивности агроценозов и повышению их эффективности. Однако химизация и обеднение биоразнообразия в агроценозах вызывают ухудшение экологической обстановки агроландшафта [1, 2]. Высокий вынос из почвы минеральных элементов урожаем и отсутствие или недостаток органических удобрений приводит к дегумификации почв, ухудшению их физических свойств, снижению содержания и подвижности элементов питания, биологической активности почвы, эффективности удобрений (до 40%), ухудшения качества продукции [1, 3].

Для предотвращения негативных последствий интенсификации, а также повышения устойчивости агроценозов предложен переход к системе биологизации, которая предусматривает сокращение применения химических средств и расширение применения органических удобрений, сидератов, промежуточных культур, многолетних трав, нетоварной части урожая, биологической защите растений [4–6]. Биологизация включает также переход на минимальную и нулевую обработки почвы, способствующие восстановлению структуры и микробного разнообразия почвы и накоплению органического вещества, повышению обеспеченности почв агроценозов подвижными формами фосфора, калия и микроэлементов [7–9].

В садоводстве негативные последствия интенсификации усугубляются монокультурой, длительным содержанием почвы под черным паром, интенсивными химическими обработками для защиты растений [3, 10, 11]. Для снижения химической нагрузки на садовый агроценоз и повышения плодородия почвы основным является увеличение биоразнообразия и количества свежего органического вещества при задернении почвы травосмесями из наиболее засухоустойчивых высокоурожайных, зимостойких и долговечных трав, содержащих бобовый компонент [12]. Такое содержание почвы обеспечивает и нулевую обработку почвы. Травянистая растительность выступает как фактор накопления органического вещества, элементов питания, стабилизации фитосанитарной обстановки агроценозов [13, 14].

Одним из путей повышения микробного разнообразия в агроценозах является внесение биоудобрений – микробных препаратов (МП), содержащих активные штаммы азотфиксирующих, фосфат- и калиймобилизирующих, а также биопротекторных микроорганизмов [15–17]. В ассоциации с многолетним растением они улучшают его рост, питание, обеспечивают защиту от патогенов и фитофагов, а также увеличивают запас подвижных форм макро- и микроэлементов в почве, особенно на фоне поступления в почву свежих растительных остатков корней и вегетативной массы скошенных трав [18]. Моделирование агроценоза путем совместного применения

многолетних трав при задернении почвы сада и бактериализации корневой системы плодового растения активными штаммами микроорганизмов способствует усилению их действия и взаимодействия [19, 20]. Однако существует видоспецифичность в ассоциации растения и микроорганизма, поэтому необходимо экспериментальным путем подтверждать ее и выявлять наиболее эффективные взаимодействия [19].

Цель работы – изучение влияния приемов биологизации садового агроценоза персика, включавших задернение почвы многолетними злаково-бобовыми смесями трав и на их фоне внесения МП, на плодородие почвы, продуктивность растений, минеральный состав трав, листьев и плодов персика для выявления оптимального сочетания изученных приемов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2019–2021 гг. в полевом двухфакторном опыте, заложенном в плодоносящем саду персика в предгорье Крыма (с. Отрадное Бахчисарайского р-на: 44°51'53" с.ш., 33°44'40" в.д.). Сад заложен в 2014 г. Сорт персика (*Prunus persica* (L.) Batsch) – Редхавен среднего срока созревания на подвое миндаля (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb). Схема посадки сада 4 × 5 м, формировка – улучшенная чаша. Схема опыта: фактор “здернение”, варианты: 1 – естественное задернение сеgetальной растительностью (ЕЗ), 2 – смесь овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) и клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) (СТЗ), 3 – смесь райграса многоукосного (*Lolium multiflorum* Lam.), люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), овсяницы луговой, клевера лугового и костреца безостого (*Bromus inermis* Leyss.) (СТ4); фактор “МП”, варианты: 1 – контроль (без применения МП), 2 – Азотобактерин 07-Агро (АБ), диазотроф, стимулятор роста, 3 – Микробиоком-Агро (МБК), микробный комплекс, в состав которого входят азотфиксатор, фосфатмобилизатор и биопротектор. МП разработаны и предоставлены отделом сельскохозяйственной микробиологии НИИ сельского хозяйства Крыма.

Посев трав осуществляли ручной сеялкой “Listok ЛЕ09005” с последующим боронованием и прикапыванием осенью 2017 г. Норма посева семян в смеси – 20–21 кг/га. Травы скашивали по мере их отрастания на 20–30 см. Скошенные остатки оставляли на месте в виде мульчи. МП вносили ежегодно в мае после цветения персика с фертигацией в слой 0–60 см из расчета 250 л рабочего раствора/га, который готовили непосредственно перед внесением путем разведения исходной суспензии МП в 100 раз.

Закладку и проведение опыта осуществляли согласно методике полевого опыта [21]. Число деревьев на учетной делянке – 3–5, повторность опыта трехкратная, размещение вариантов рендомизированное

в пределах ряда персика. Во время проведения опыта механическую обработку почвы и внесение гербицидов не осуществляли. Сад орошали капельным поливом с поддержанием влажности почвы в слое 0–80 см на уровне 60–70% НВ. Удобрения вносили как с фертигацией, так и фолиарно. В целом дозы минеральных удобрений были невысокими: N25–30P1–5K5–15/год. Кроме макроэлементов, удобрения содержали микроэлементы, аминокислоты, гуматы и экстракты водорослей. Удобрения вносили фоном под все деревья, независимо от варианта опыта.

Учеты и наблюдения за растениями в опыте проводили по методике сортоизучения плодовых культур [22]. В течение вегетационного периода учитывали биомассу травостоя перед кошением в вариантах опыта методом пробных площадок [23]. За вегетационный период проводили 3–4 укоса в зависимости от погодных условий.

Почва на участке – чернозем обыкновенный карбонатный эродированный средне- и сильногалечниковый плантажированный тяжелосуглинистый на делювиальных суглинистых и суглинисто-галечниковых отложениях. Перед закладкой опыта почва содержала в слое 0–40 см: органического вещества – 1.5–1.6%, нитратного азота – 0.5–2.2 мг/кг, подвижного P_2O_5 – 10–20, обменного K_2O – 130–350 мг/кг. Обеспеченность почвы основными элементами питания (кроме калия) и почвенным органическим веществом (ПОВ) – низкая, калием – на среднем и высоком уровне.

Образцы почвы для анализа отбирали ежегодно через 1 мес. после внесения МП в 20-см слоях до глубины 60 см. В почве определяли: содержание нитратного азота потенциометрическим методом (ГОСТ 26951-86), подвижных форм фосфора и калия – по Мачигину (ГОСТ 26205-91), содержание ПОВ – по Тюрину в модификации Симакова–Цыпленкова (ГОСТ 26213-91). Листья персика для анализа отбирали со средней части однолетних побегов из середины кроны по периметру дерева в фазе окончания интенсивного роста побегов (конец июля) в трехкратной повторности по 100 листьев. Плоды отбирали в фазе технической спелости по периметру кроны дерева по 2 кг в варианте. Определение содержания элементов питания в листьях и плодах персика, а также образцах трав проводили после мокрого озоления смесью серной кислоты и пероксида водорода [24]. В фильтрате определяли азот методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93) на анализаторе азота UDK 139 VELP (Италия), фосфор – молибденово-ванадатным методом по ГОСТ 26657-97, калий и кальций – методом пламенной фотометрии на приборе “BWB-XP” (Великобритания). Содержание С в травах определяли на экспресс-анализаторе “Метавак CS-10”.

Данные обработаны статистическими методами на основе пакета программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 12. Используются методы корреляционного, дисперсионного и множественного регрессионного анализов [25]. Приведены средние с доверительным интервалом $\pm 95.00\%$, коэффициенты парной корреляции (r), величины наименьшей существенной разницы (HCP_{05}) при 95%-ном доверительном уровне.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При применении приемов биологизации происходит образование большого количества растительных остатков трав при их постоянном скашивании. Учет биомассы скошенных трав в опыте показал, что при ЕЗ без применения МП она была невысокой (табл. 1).

МП способствовали увеличению биомассы сеgetальных трав, однако максимальное накопление биомассы отмечено при задернении пятикомпонентной смесью трав СТ4. При сочетании последней с АБ образовалось в 3 раза больше биомассы, чем в контроле ЕЗ. Большая биомасса была накоплена также в варианте применения АБ со смесью СТ3, которая в 2.7 раза превышала контрольную ЕЗ. Как задернение, так и МП, как факторы, достоверно увеличивали биомассу скошенных растительных остатков по сравнению с ЕЗ и контролем при близкой доле влияния факторов (13–15% общей дисперсии).

Одновременно с увеличением биомассы трав менялся и их минеральный состав. Содержание углерода в сеgetальной растительности и примененных смесях трав находилось на уровне 38–39% от массы, причем в сеяных травах его было больше, чем в сеgetальных. Применение МП при ЕЗ существенно увеличивало содержание углерода, максимально – препарат АБ на 4.2%, возможно, за счет усиления роста трав. МП, примененные на фоне сеяных смесей трав, увеличивали содержание углерода по сравнению с контролем ЕЗ, в большей мере при применении МБК. Доля влияния МП в общей дисперсии составила 19%, совместное влияние трав и МП на содержание в них углерода была более существенным и составило 56% общей дисперсии.

Содержание азота в биомассе всех искусственных смесей трав было больше, чем в сеgetальной растительности на 0.85–1.02% в контроле. МП также способствовали увеличению содержания азота как в сеgetальных, так и в искусственных смесях трав, которое в отдельных вариантах достигало 3.86–3.92% (варианты СТ3 и СТ4 в сочетании с АБ). Это происходило за счет присутствия бобового компонента в этих смесях, а также дополнительного поглощения азота травами при азотфиксации, обеспеченной активным штаммом – биоагентом АБ.

Таблица 1. Влияние приемов биологизации на биомассу и минеральный состав трав при задернении агроценоза персика (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.)

Вариант	Контроль	АБ	МБК	Среднее фактора “здернение”
Сухая биомасса скошенных трав, т/га				
ЕЗ	4.4	7.9	8.6	6.9
СТЗ	5.7	11.8	8.9	8.8
СТ4	9.9	13.1	12.3	11.7
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 1.0$ т/га, HSP_{05} частных средних = 1.0 т/га**	6.7	10.9	9.9	
С, %				
ЕЗ	37.6	41.8	39.3	39.6
СТЗ	39.2	38.0	41.4	39.4
СТ4	39.4	40.2	40.4	40.0
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 0.5\%$, HSP_{05} частных средних = 0.9%	38.7	39.8	40.4	
N, %				
ЕЗ	2.40	2.54	2.52	2.49
СТЗ	3.25	3.92	3.11	3.43
СТ4	3.38	3.86	3.50	3.58
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 0.04\%$, HSP_{05} частных средних = 0.07%	3.13	3.47	3.12	
P, %				
ЕЗ	0.34	0.33	0.41	0.36
СТЗ	0.32	0.49	0.28	0.36
СТ4	0.29	0.40	0.28	0.32
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 0.02\%$, HSP_{05} частных средних = 0.04%	0.35	0.41	0.35	
K, %				
ЕЗ	1.36	1.21	1.20	1.25
СТЗ	2.57	2.22	2.87	2.55
СТ4	2.33	2.44	2.61	2.46
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 0.02\%$, HSP_{05} частных средних = 0.04%	1.99	1.90	2.26	
Ca, %*				
ЕЗ	1.45	1.79	1.79	1.67
СТЗ	1.20	1.99	1.51	1.56
СТ4	1.56	1.66	1.50	1.57
Среднее фактора “МП”, $HSP_{05} = 0.03\%$, HSP_{05} частных средних = 0.04%	1.40	1.81	1.60	

* Данные за 2019–2020 гг.

** HSP_{05} частных средних – наименьшая существенная разница для частных средних, $p < 0.05$.

Травы содержали достаточно много фосфора, и при задернении почвы сеянными злаково-бобовыми смесями его количество увеличивалось в большей мере при задернении смесями СТЗ и СТ4 с обработкой АБ на 0.06–0.15%, или на 18–44 отн. % к контролю ЕЗ.

Содержание калия в травах при ЕЗ было невысоким, и МП на этом фоне даже снижали его количество. Злаково-бобовые смеси содержали значительно

больше калия, чем сеgetальные травы. Наибольшее накопление калия в биомассе сеяных трав отмечено в вариантах СТЗ и СТ4 с МБК – на 1.3–1.5% от контроля ЕЗ, или в 1.9–2.1 раза, возможно, за счет калиймобилизующей роли штаммов, входящих в МБК.

Содержание кальция в травах было высоким в контроле ЕЗ. МП, как фактор, способствовали существенному увеличению его содержания на 0.2–0.4% (14–29 отн. %)

по сравнению с контролем ЕЗ, доля влияния фактора в общей дисперсии составила 47%. В сеяных смесях трав его количество было меньше, чем при ЕЗ в целом в зависимости от этого фактора, но оставалось более высоким, чем в контроле ЕЗ. Максимальное увеличение содержания кальция в травах отмечено при сочетании смеси СТ3 и обработки АБ на 0.54% (37 отн. %) по сравнению с контролем ЕЗ.

В связи с тем, что примененные приемы биологизации способствовали значительному накоплению азота и некоторому накоплению углерода в травах, менялся и такой важный показатель, как отношение $C : N$, которое определяет быстроту разложения растительных остатков, богатых лабильными компонентами и содержащих небольшое количество устойчивых к разложению микроорганизмами веществ [4, 26]. Считается, что качество растительных остатков является высоким, если соотношение ($C : N$) $< 18-19$, что приводит к быстрой минерализации микроорганизмами растительных остатков (корней и вегетативной массы трав) и повышению содержания азота в почве [27, 28]. Нами установлено, что в смесях сеяных трав это соотношение было значительно меньше, чем в сеgetальных и в контроле, и составляло 11.6–12.1 за счет большего увеличения в травах содержания азота относительно увеличения количества углерода (рис. 1).

АБ на фоне сеяных смесей трав способствовал самому значительному снижению этого показателя относительно контроля до 9.5–10.4 в обоих вариантах смесей сеяных трав, что и приводило к быстрой минерализации и одновременно гумификации биомассы трав с пополнением почвы органическим веществом и азотом. Ранее было установлено, что растительные остатки с узким соотношением $C : N$ способствуют более быстрому обогащению почвы гумусом [29], а включение углерода корней в органическое вещество почвы составляет 16–30%, в то время

как вегетирующей надземной массы – всего 7.7–20% [30, 31].

Основным показателем свойств почвы, который определяет многие ее физические и химические свойства, является содержание ПОВ. В опыте показано, что в среднем за 3 года его содержание было низким (меньше минимального содержания (3.0–4.0% для черноземов южных [32]) как в контроле, так и в вариантах опыта (рис. 2а).

Примененные приемы биологизации приводили к его увеличению на 0.1–0.6%, АБ на фоне задернения смесью СТ4 увеличивал его достоверно по отношению к контролю ЕЗ и варианту сочетания применения АБ и ЕЗ.

Содержание элементов питания в контроле ЕЗ было средним для нитратного азота (5–30 мг/кг), низким для фосфора (< 15 мг/кг) и повышенным для калия (300–400 мг/кг) уровнем обеспеченности для плодовых культур [33] (рис. 2б, в, г). Применение АБ на фоне ЕЗ и на фонах задернения сеяными травами увеличивало содержание $N-NO_3$ в почве на 5–12 мг/кг, максимально и достоверно на фоне СТ3 – на 12.5 мг/кг. При этом уровень обеспеченности нитратным азотом деревьев персика становился высоким.

Концентрация подвижных форм фосфора в почве при задернении сеяными травами и при их сочетании с МП также увеличивалась, достоверно на фоне задернения смесями СТ3 и СТ4 в сочетании с АБ и МБК по отношению к контролю ЕЗ. Максимальное увеличение содержания подвижного фосфора в почве отмечено при сочетании смеси СТ3 с МБК на 13 мг/кг относительно контроля ЕЗ, что было связано с фосфатмобилизирующей ролью этого препарата. Уровень обеспеченности фосфором становился средним для плодовых культур.

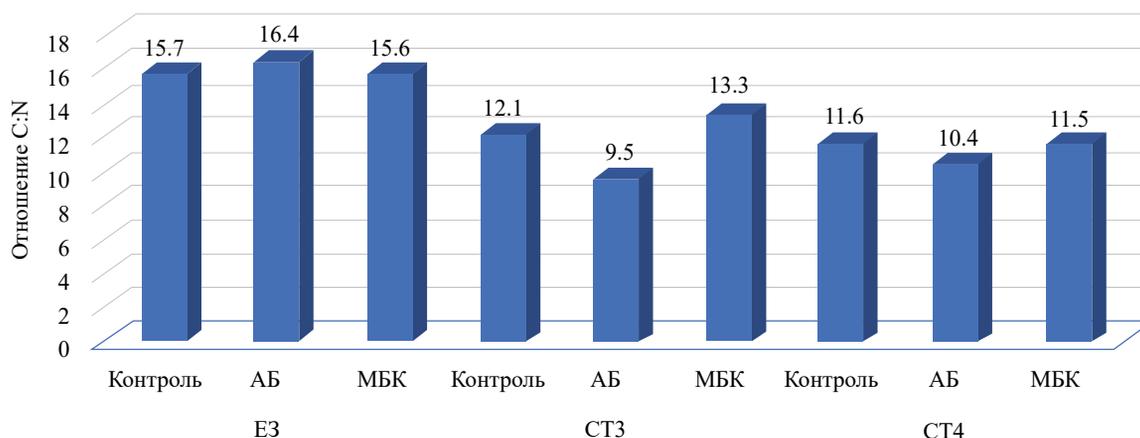


Рис. 1. Отношение углерода к азоту ($C : N$) в травах при биологизации агроценоза персика (среднее за 2 года, 2020–2021 гг.).

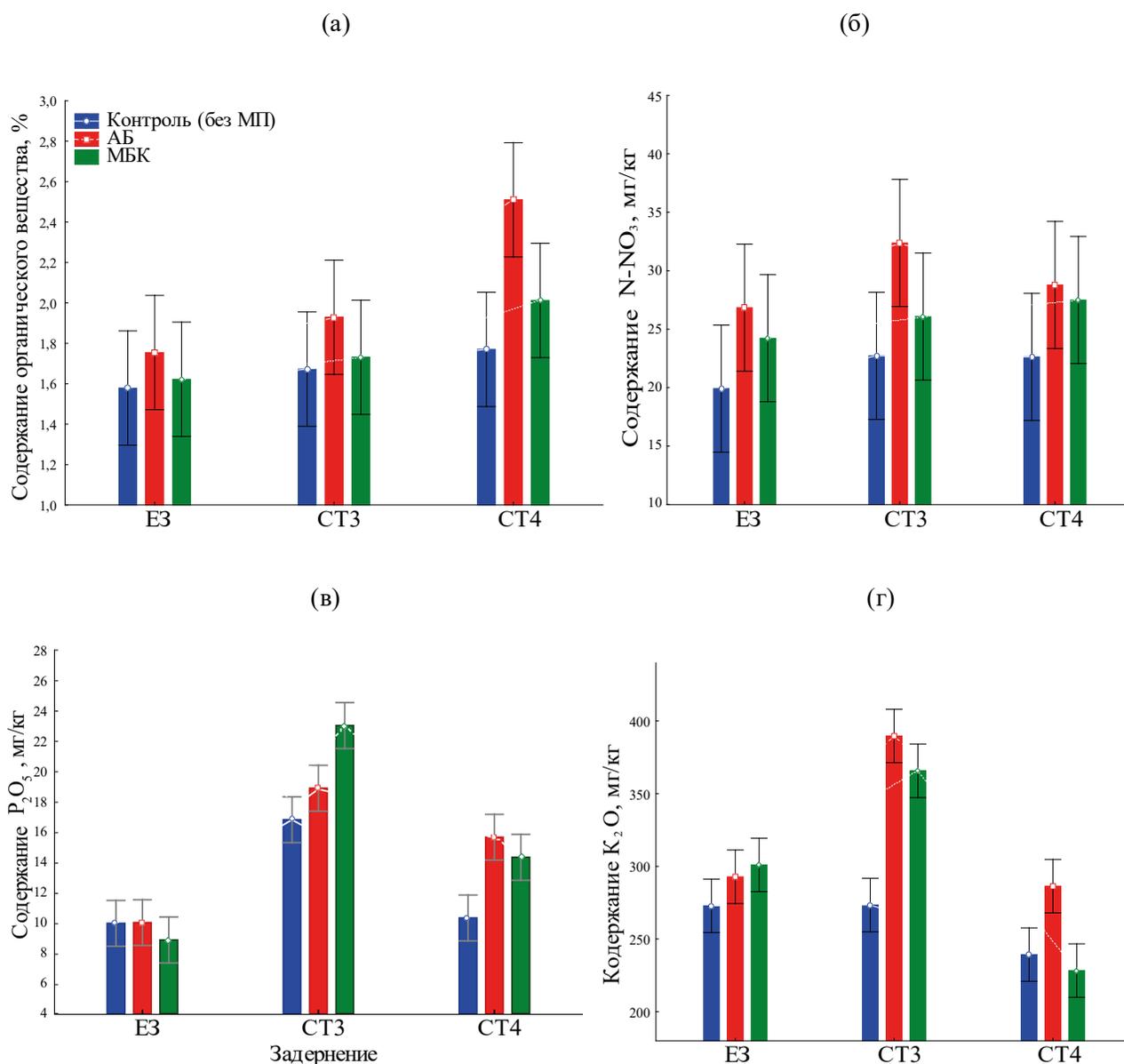


Рис. 2. Влияние биологизации на содержание гумуса (а) и элементов питания (б–г) в почве (среднее в слое 0–60 см) агроценоза персика (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.). Вертикальные отрезки – доверительный интервал ($p < 0.05$).

Содержание обменного калия в почве возрастало существенно при действии АБ и МБК на фоне смеси трав СТ3 на 93 и 117 мг/кг по сравнению с контролем ЕЗ соответственно, и почва становилась высокообеспеченной этим элементом. Это подтверждало мнение о том, что растительные остатки трав являлись прямым источником макро- и микроэлементов [13, 34].

В динамике гумусированность почвы от года к году увеличивалась за счет увеличения биомассы скошенных трав ($r = 0.55, p = 0.05$). В среднем в опыте содержание гумуса в почве за 3 года увеличилось с 1.5 до 2.2% (на 47 отн. %). Содержание нитратного азота в почве во время опыта, наоборот, снижалось

в среднем с 34 до 19 мг/кг, максимально – в контроле ЕЗ с 33 до 12 мг/кг. Наименьшая убыль нитратного азота в почве при биологизации отмечена в варианте задернения смесью СТ3 и применения АБ (с 33 до 27 мг/кг).

Содержание подвижных форм фосфора в почве во времени увеличивалось в целом в опыте с 8 до 19 мг/кг, в вариантах задернения смесью СТ4 и применения АБ и МБК в 2021 г. оно превышало содержание, отмеченное в 2019 г., на 18–25 мг/кг. Обеспеченность персика фосфором в этих вариантах повышалась до среднего уровня обеспеченности (15–30 мг/кг).

Содержание обменного калия в контроле во времени также снижалось без внесения минеральных удобрений в почву в целом в опыте с 440 до 280 мг/кг. Это было связано со значительным выносом калия урожаями персика, а также поглощением травами, особенно в контроле ЕЗ, где не было мобилизации калия МП. При задернении смесью СТ3 оно снизилось всего на 80 мг/кг. Все это свидетельствовало о необходимости пополнения запаса элементов питания в почве за счет более высоких доз минеральных удобрений, чем это делали в хозяйстве.

Повышение плодородия почвы и оптимизация минерального состава поступающих растительных остатков способствовали улучшению минерального питания персика. Показано, что в контроле ЕЗ содержание азота в листьях персика было меньше оптимального уровня (3.0–3.3% [35]) (рис. 3).

Применение МП на этом фоне задернения увеличивало содержание азота существенно – на 0.27–0.66%, при действии АБ оно достигало нижней границы оптимума. Задернение смесями многолетних

трав также способствовало увеличению концентрации азота в листьях на 0.3–0.5%, максимально – при задернении смесью СТ3. При сочетании задернения смесью СТ4 и применения АБ содержание азота в листьях возрастало еще в большей мере и достигало оптимального уровня.

Содержание фосфора в листьях персика при биологизации было невысоким в контроле ЕЗ (0.17%) и меньше оптимального уровня (0.24–0.29% [35]). Задернение почвы смесями сеяных трав вызывало снижение его содержания в листьях, вероятно, из-за конкуренции за фосфор с травами, в биомассе которых содержание фосфора было более высоким (табл. 1). Содержание этого элемента становилось оптимальным при задернении почвы смесью СТ3 в сочетании с применением АБ и МБК, что превышало контроль ЕЗ на 0.07–0.09%, или 41–53 отн. %.

Содержание калия в листьях персика в варианте ЕЗ также было низким (оптимум – 1.70–2.50% [35]). Применение МП в условиях ЕЗ могло как увеличивать (АБ), так и снижать (МБК) содержание калия

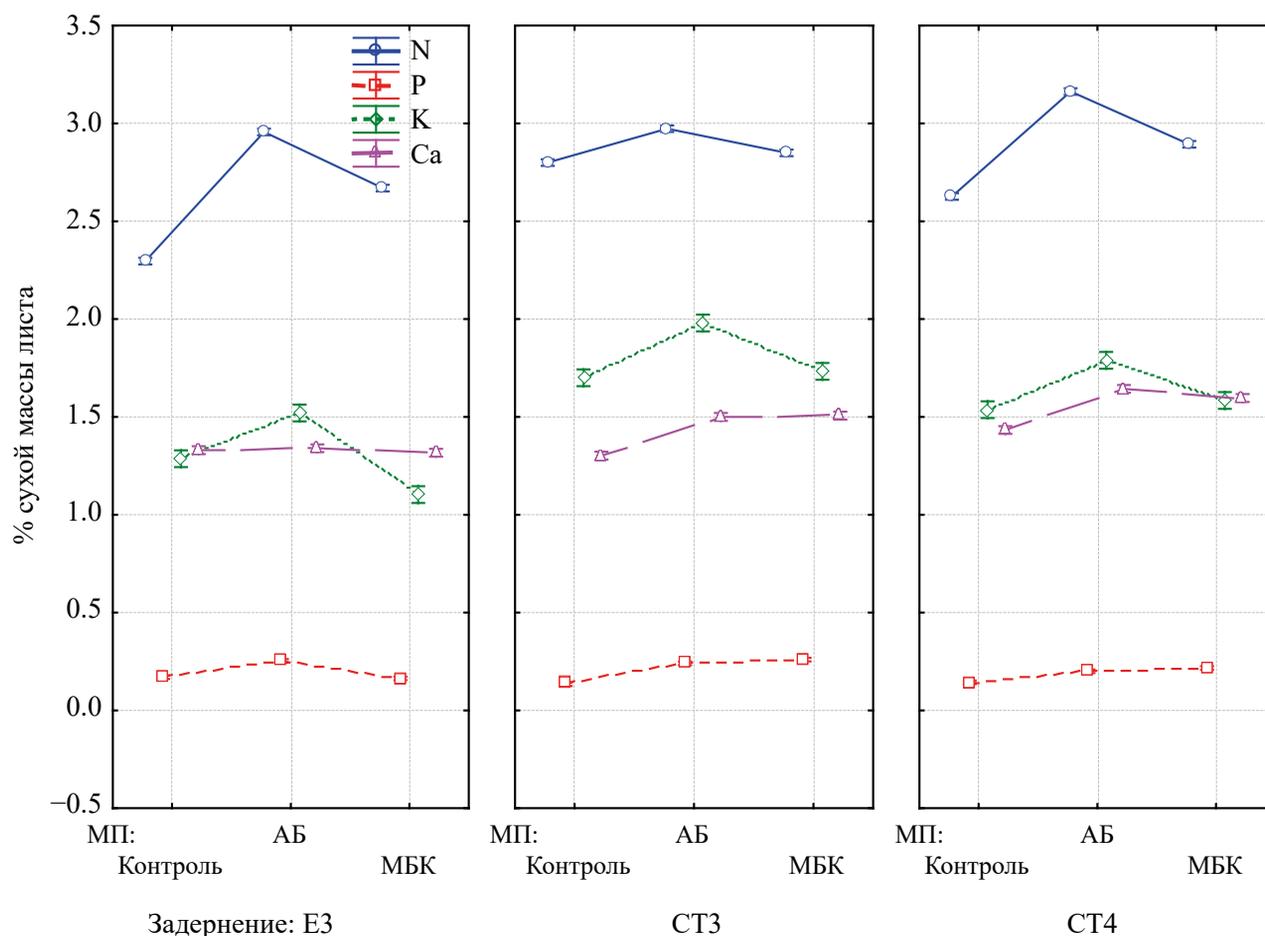


Рис. 3. Содержание элементов питания в листьях персика сорта Редхавен при биологизации (июль) (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.). Вертикальные отрезки – стандартная ошибка среднего ($\pm Sx$). То же на рис. 4, 5.

в листьях. Последнее, возможно, было связано с большим потреблением калия самими микроорганизмами штаммов, входящих в препараты. Задержание почвы злаково-бобовыми смесями трав в сочетании с МП существенно увеличивало содержание калия в листьях персика в большинстве вариантов до оптимального уровня, максимально – при задержании смесью СТ3 и применением АБ.

Содержание кальция в листьях персика при ЕЗ было невысоким, несмотря на значительное содержание карбонатов в почве (20–26%), и было ниже оптимального (1.5–2.0% [35]). Это связано с низким содержанием доступного растениям Са в почве, обусловленного щелочной реакцией среды (рН_{H2O} 8.2–8.5 ед.). Смеси злаково-бобовых трав в сочетании с МП существенно увеличивали содержание Са в листьях персика, в большей мере – в варианте задержания смесью СТ4 и применения АБ и МБК (на 0.27–0.31%, или на 20–23 отн. %).

Таким образом, в результате применения приемов биологизации улучшалось питание персика макроэлементами, содержание которых при применении смесей сеяных трав и МП становилось оптимальным, причем содержание большинства элементов, кроме калия, в листьях персика одинаково значительно увеличивалось в обоих вариантах искусственного задержания и в большей степени при применении АБ.

Повышение плодородия почвы и улучшение минерального питания персика сказало на его продуктивности. Установлено, что в среднем за 3 года

опыта урожайность персика сорта Редхавен в контроле ЕЗ была невысокой (рис. 4).

Применение МП на разных фонах задержания приводило к увеличению урожайности персика, максимально – под действием АБ и МБК при задержании смесью СТ3 (на 9–10 т/га, или в 2.4–2.6 раза) относительно контроля ЕЗ.

Приемы биологизации влияли также и на качество плодов персика. Данные состава макроэлементов мякоти плодов показали, что содержание азота в контроле ЕЗ было в 2.6 раза, фосфора – в 2.5 раза, кальция – в 6.5 раза меньше, чем в листьях, что определялось физиологическими особенностями плодов (рис. 5).

Содержание калия в мякоти плодов персика в контроле ЕЗ было в 1.1 раза больше, чем в листьях, что определило важность плодов персика как источника калия в питании человека.

Задержание междурядий сеяными травами и применение МП как биоудобрений способствовало значительному и существенному увеличению содержания азота и фосфора в плодах, особенно в варианте задержания смесью СТ3 в сочетании с АБ и МБК. Содержание калия в плодах при задержании смесью СТ3 увеличивалось существенно относительно ЕЗ, в большей степени в сочетании с МП, при задержании смесью СТ4 – снижалось в контроле по сравнению ЕЗ. Применение МБК на этом фоне задержания приводило к увеличению содержания калия в плодах.

Искусственное задержание вызвало уменьшение содержания кальция в плодах относительно ЕЗ,

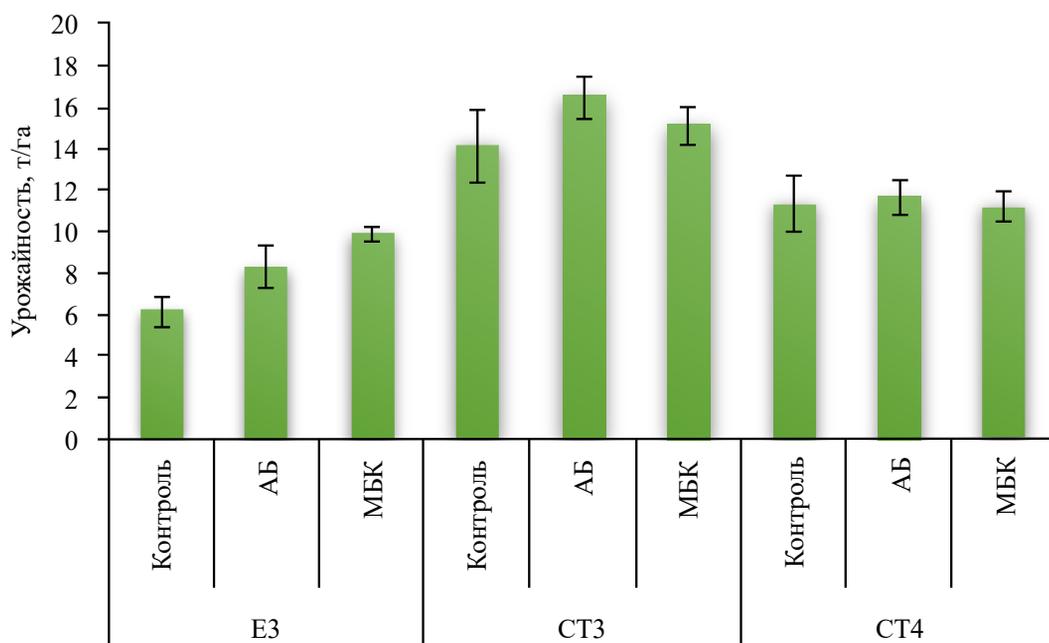


Рис. 4. Урожайность персика сорта Редхавен на подвое миндаля при биологизации (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

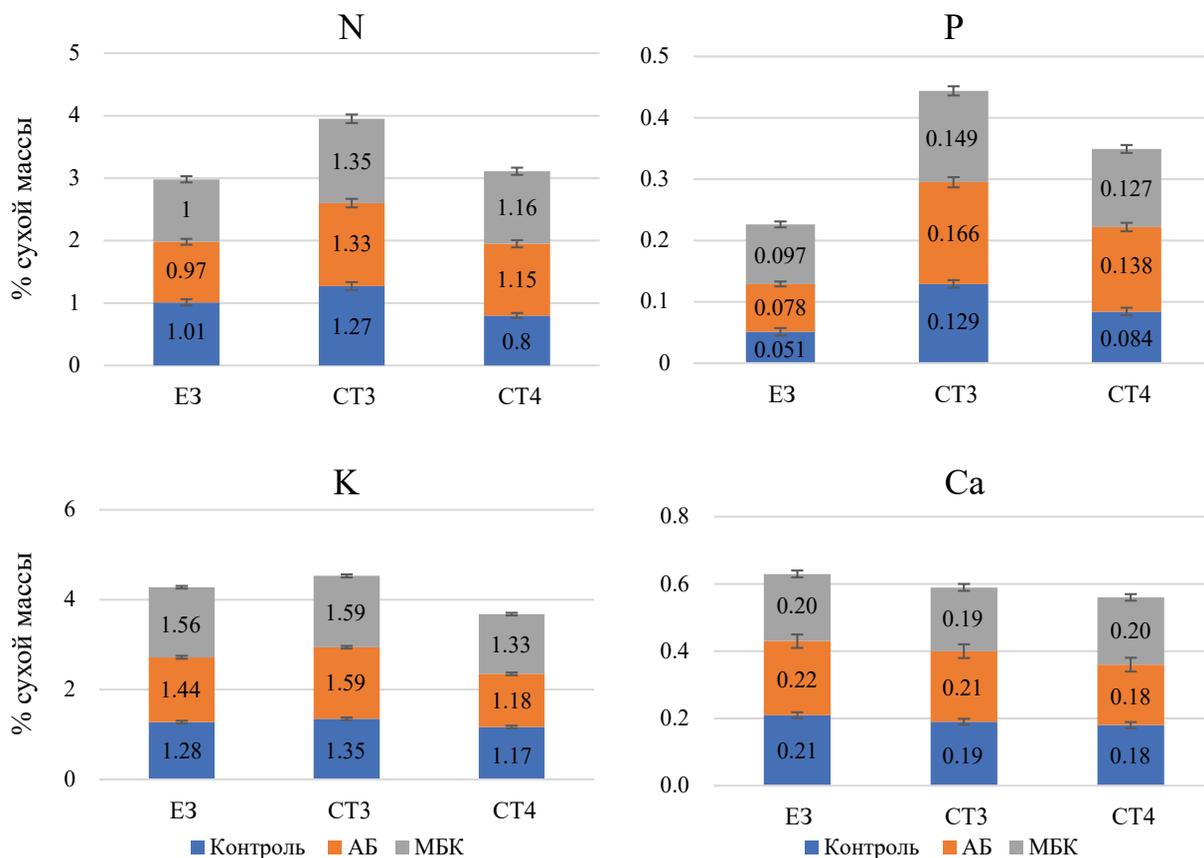


Рис. 5. Содержание макроэлементов в мякоти плодов персика сорта Редхавен на подвое миндаля при биологизации (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

что, вероятно, определялось большим поглощением кальция сеянными травами и антагонизмом кальция с азотом и фосфором в плодах в связи со значительным увеличением содержания последних.

Для оценки множественного влияния факторов, изученных в опыте, проведен множественный корреляционный анализ данных их влияния на продуктивность персика. В расчет были включены содержание подвижных форм элементов питания в почве, масса скошенных растительных остатков, их минеральный состав, состав листьев персика, а также число плодов на дереве. Модель продуктивности сорта Редхавен на черноземе обыкновенном при биологизации имела вид:

$$Y_{\text{урожайность, т/га}} = -4.70 + 0.06x_1 + 0.01x_2 + 0.10x_3 + 2.08x_4 - 2.66x_5 + 1.57x_6 - 0.76x_7, \quad (1)$$

где x_1 – число плодов, шт.; x_2 – содержание обменного K_2O в почве, мг/кг; x_3 – содержание подвижного P_2O_5 в почве, мг/кг; x_4 – содержание азота в листьях персика, %; x_5 – содержание калия в листьях персика, %; x_6 – содержание калия в надземной биомассе трав, %; x_7 – содержание азота в травах, %; $R^2 = 0.902$, $p < 0.05$.

Уравнение (1), свободный член и все коэффициенты уравнения были значимы на 5%-ном уровне. Высокий коэффициент детерминации уравнения показал, что урожайность персика на 90% была обусловлена величинами, входящими в уравнение.

Судя по коэффициентам β , наиболее значимыми факторами, влияющими на урожай персика, были: число плодов (0.68), содержание калия в травах (0.28), содержание обменного K_2O в почве (0.24), подвижного P_2O_5 в почве (0.21) и калия в листьях персика (0.21). Из уравнения (1) следует, что большое влияние на урожай персика оказывало содержание калия в элементах агроценоза, что обуславливало необходимость поддержания высокого содержания подвижного калия в почве и растениях для обеспечения высоких урожаев персика при прочих оптимальных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приемы биологизации агроценоза персика, включавшие задернение почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав и применение на их фоне микробных препаратов (МП), в орошаемых условиях черноземов обыкновенных

предгорья Крыма привели к существенному увеличению количества свежего органического вещества травянистых растений в агроценозе с высоким содержанием азота и калия по сравнению с сеgetальной растительностью. При этом соотношение углерода к азоту в растительных остатках становилось уже, что способствовало повышению их качества и быстрой минерализации.

Увеличение биомассы растительных остатков трав, с одной стороны, и оптимизация их минерального состава, с другой, способствовали накоплению органического вещества и элементов питания в почве, наиболее значительному при совместном действии трав и МП. Из МП наибольшее положительное влияние на содержание элементов питания в почве оказывал препарат АБ при задернении междурядий смесью овсяницы луговой с клевером луговым (СТ3), на количество органического вещества почвы – этот же препарат на фоне задернения пятикомпонентной смесью трав (СТ4). Однако по годам исследования при небольших дозах минеральных удобрений и значительном увеличении урожая персика при применении приемов биологизации содержание подвижных форм азота и калия в почве снижалось, что определило необходимость внесения небольших, но достаточных доз минеральных удобрений для поддержания запасов элементов питания в почве на оптимальном уровне. Для разработки оптимальных доз минеральных удобрений в персиковом саду при биологизации необходимо провести балансовые расчеты запасов элементов питания в агроценозе, базируясь на данных, полученных в опыте.

Приемы биологизации способствовали улучшению минерального питания и состава плодов персика. При этом минеральный состав листьев становился оптимальным по содержанию азота и кальция при задернении смесью СТ4 и применении МП, фосфора и калия – при задернении смесью СТ3 и применении МП.

В минеральном составе плодов персика при биологизации наибольшее увеличение основных элементов питания происходило при действии обоих МП на фоне задернения смесью СТ3. Снижение содержания кальция в плодах при биологизации было обусловлено, вероятно, конкуренцией за подвижные формы кальция в почве между травами и плодовым растением, а также взаимодействием элементов в самом растении. Содержание кальция в плодах могло быть пополнено за счет внесения этого элемента в виде листовой подкормки.

Все положительные изменения в составе агроценоза при биологизации способствовали увеличению урожайности персика на 9–10 т/га при воздействии препарата МП на фоне задернения смесью СТ3. В связи с этим такое сочетание исследованных приемов можно считать оптимальным для данного сорта

на черноземах обыкновенных Крыма при биологизации агроценоза персика.

Множественная прямолинейная регрессионная модель продуктивности персика при биологизации позволит прогнозировать или моделировать урожайность персика, учитывая существенную связь между продуктивностью персика и содержанием элементов питания в почве, травянистой растительности и листьях персика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соколов М.С.* Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 3–16. DOI: 10.1134/S0002188119110127
2. *Lisetskii F., Stolba V.F., Marinina O.* Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea // *Geoderma*. 2015. V. 239–240. P. 304–316. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.006
3. *Клименко О.Е., Клименко Н.И., Орел Т.И., Новицкий М.Л.* Деграционные процессы в почвах под садами Крыма и возможные пути их преодоления // Современное состояние черноземов: Матлы II Международ. научн. конф, Ростов-на-Дону, 24–28 сентября 2018 г., ЮФУ. В 2-х т. / Отв. ред. О.С. Безуглова. Ростов/нД., Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2018. Т. 1. С. 143–149.
4. *Семенов В.М., Ходжаева А.К.* Агроэкологические функции растительных остатков в почве // *Агрохимия*. 2006. № 7. С. 63–81.
5. *Алейник С.Н.* Внедрение биологической системы земледелия на территории Белгородской области в 2011–2012 гг. // Мат-лы област. научн.-практ. конф. “Биологизация земледелия – вклад в будущее”. 2013. С. 5–15.
6. *Гурин А.Г., Резвякова С.В., Ревин Н.Ю.* Проблемы сохранения почвы от эрозии в промышленных садах Центрально-черноземного региона // *Вестн. ОрелГАУ*. 2017. № 4(67). С. 32–42. DOI: 10.15217/48484
7. *Лукин С.В.* Динамика агрохимических показателей плодородия пахотных почв юго-западной части Центрально-Черноземных областей России // *Почвоведение*. 2017. № 11. С. 1367–1376. DOI: 10.7868/S0032180X17110090
8. *Савченко С.Е.* Адаптивно-ландшафтная система земледелия как основа социально-экономического благополучия региона // *Современные проблемы адаптации (Жученковские чтения IV)*. Ч. 1. Белгород. М.: Мин-во науки и высш. обр-я РФ, 2018. С. 10–19.
9. *Лукин С.В.* Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при

- длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1671–1685. DOI: 10.31857/S0032180X23600890
10. *Сергеева Н.Н., Савин И.Ю., Трунов И.А., Драгавцева И.А., Моренец А.С.* Многолетняя динамика агрохимических свойств черноземов под яблоневыми садами // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 93. С. 21–39. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-93-21-39
 11. *Балыкина Е.Б., Клименко О.Е., Рыбарева Т.С.* Эффективность дерново-перегнойной системы содержания почвы и биологизированных методов защиты в интенсивном саду яблони (*Malus domestica* Borkh.) на юге России // Сад-во и виноград-во. 2024. № 2. С. 30–38. DOI: 10.31676/0235-2591-2024-2-30-38
 12. *Легтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцев Р.Ю.* Экология Белогорья в цифрах: Монография. Белгород: КОНСТАНТА, 2016. 122 с.
 13. *Левин Ф.И., Белозеров С.М., Диваченко В.С.* Изменение параметров биологического круговорота азота, фосфора и калия при использовании промежуточных культур на дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 1985. № 9. С. 68–75.
 14. *Котлярова Е.Г.* Агроэкологическое обоснование эффективности ландшафтных систем земледелия в Центральном Черноземье: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. 42 с.
 15. *Клименко Н.Н., Клименко О.Е.* Влияние микробных препаратов и задернения междурядий виноградника на агрохимические свойства почвы и минеральное питание винограда сорта Мускат Белый // Молодий вчений. 2015. № 12. Ч. 3. С. 164–168.
 16. *Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р.* Ризосферные бактерии // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. естеств. науки. 2016. Т. 158. Кн. 2. С. 207–224.
 17. *Trivedi P., Batista B.D., Bazany K.E., Singh B.K.* Plant–microbiome interactions under a changing world: responses, consequences and perspectives // New Phytol. 2022. № 234. P. 1951–1959. DOI: 10.1111/nph.18016
 18. *Стейнберг (Прохоренко) Э.В.* Изменение почвенного плодородия под плодовым садом // КНАУ им. К.И. Скрябина. 2017. № 2(43). С. 172–176.
 19. *Клименко Н.И., Клименко О.Е., Попов А.И.* Экологизация выращивания саженцев яблони // Бюл. Гос. Никит. бот. сада. 2020. Вып. 134. С. 72–80. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-134-72-80
 20. *Клименко О.Е., Сотник А.И., Попов А.И.* Оценка влияния приемов биологизации агроценоза яблони (*Malus domestica* Borkh.) на плодородие почвы и продуктивность растений // Агрохимия. 2024. № 2. С. 17–28. DOI: 10.31857/S0002188124020027
 21. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 22. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел, 1999. 608 с.
 23. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / Под ред. К.Ш. Казеева. Ростов/нД.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
 24. *Соловьев Г.А.* О методах определения азота, фосфора, калия, натрия, кальция, магния, железа и алюминия из одной навески после мокрого озоления // Проблемы почвоведения, агрохимии и мелиорации почв. Воронеж, 1973. С. 134–139.
 25. *Буреева Н.Н.* Многомерный статистический анализ с использованием ППП “STATISTICA”. Н.Новгород, 2007. 112 с.
 26. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
 27. *Praveen-Kumar J.C., Tarafdar J.P., Shyam K.* A rapid method for assessment of plant residue quality // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2003. V. 166. № 5. P. 662–666.
 28. *Pansu M., Thuriès L.* Kinetics of C and N mineralization, N immobilization and N volatilization of organic inputs in soil // Soil Biol. Biochem. 2003. V. 35. № 1. P. 37–48.
 29. *Nicolardot B., Recous S., Mary B.* Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C : N ratio of the residues // Plant and Soil. 2001. V. 228. № 1. P. 83–103.
 30. *Bolinder M.A., Angers D.A., Giroux M., Laverdiere M.R.* Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.) // Plant and Soil. 1999. V. 215. № 1. P. 85–91.
 31. *Dejoux J.-F., Recous S., Meynard J.-M., Trinsoutrot I., Leterme L.* The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring // Plant and Soil. 2000. V. 218. № 1–2. P. 257–272.
 32. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
 33. *Семенюк Г.М.* Диагностика минерального питания плодовых культур. Кишинев: Штиинца, 1983. 324 с.
 34. *Беляк В.Б.* Влияние сидератов на продукционные процессы в севообороте // Вестн. РАСХН. 2002. № 1. С. 77–80.
 35. Агрохимия: учеб-к / Под ред. В.Г. Минеева. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.

Methods of Biologization of the Agrocenosis of Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) in the Foothill Crimea

O. E. Klimenko^{a,#}, N. N. Yakusheva^b, A. V. Struchenko^a, A. I. Dubina^c

^a*Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the RAS, Nikitsky spusk, 52, Nikita, pgt Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia*

^b*Research Institute of Agriculture of Crimea, ul. Kyivskaya 150, Republic of Crimea, Simferopol 295043, Russia*

^c*Individual entrepreneur, Bakhchisarai district, Republic of Crimea, Otradnoye 298413, Russia*

[#]*E-mail: olga.gnbs@mail.ru*

In a long-term two-factor field experiment, the influence of biologization techniques on the state of peach agrocenosis in the foothills of the Crimea (Otradnoye village, Bakhchisarai district) on ordinary carbonate eroded chernozems was studied. The research was carried out in 2019–2021, the peach variety (*Prunus persica* (L.) Batsch) – Redhaven on almond rootstock (*P. dulcis* (Mill.) D.A. Webb). Two methods of biologization of agrocenosis were studied: blackening of the soil with segetal and artificial cereal-bean mixtures of herbs and the introduction of microbial preparations (MP) as biofertilizers – Azotobacterin 07-Agro (AB) and Microbiokom-Agro (MBK). It was found that both soil blackening and MP had a positive effect on soil properties, herbaceous and woody plants. Their more significant effect was revealed when used together. The maximum accumulation of grass biomass occurred in the variant of blackening with a mixture of herbs (*Festuca pratensis* Huds. + *Trifolium pratense* L. + *Lolium multiflorum* Lam. + *Medicago sativa* L. + *Bromus inermis* Leyss.) (MH4) in combination with AB, which was 3 times higher than the blackening of natural vegetation without MP (control of natural blackening (NB)). The biomass of seeded grasses contained more basic nutrients and carbon, the ratio of carbon to nitrogen was lower than in segetal vegetation, which contributed to its rapid mineralization with the formation of mineral nitrogen, and an increase in carbon content led to a more significant increase in the content of soil organic matter (SOM) compared with natural blackening. MP against the background of seeded grasses stimulated the accumulation of SOM in the soil, to a greater extent AB against the background of blackening with a mixture of MH4. The content of mobile forms of nutrients in the soil increased during biologization: nitrate nitrogen – by 12.5 mg/kg under the action of AB against the background of blackening with a mixture of *F. pratensis* + *T. pratense* (MH3), mobile phosphorus – by 13 mg/kg under the influence of MBK, K₂O – by 93 and 117 mg/kg when applying AB and MBK, respectively, compared with the control of NB. All this contributed to the improvement of the mineral nutrition of the peach, an increase in the content of essential nutrients in the leaves: nitrogen – by 0.9% under the action of AB against the background of MH4, phosphorus – by 0.07–0.09% under the influence of AB and MBK against the background of MH3, and potassium – by 0.6% when applying AB against the same background. All this contributed to an increase in the yield of peach fruits by 9–10 t/ha when using MP against the background of blackening with a mixture of MH3, as well as an increase in the content of nitrogen, phosphorus and potassium in fruits. The calcium content in fruits decreased during biologization, which was due to the high absorption of calcium by seeded grasses and the antagonism of calcium with nitrogen and phosphorus in fruits. The constructed model of the productivity of peach plants during biologization reflected the dependence of peach productivity on the content of elements in grasses, soil and leaves. Based on the studied complex of factors, it was found that when biologizing the peach agrocenosis, blackening the soil with a mixture of MH3 and the use of AB is optimal.

Keywords: agrocenosis, peach, biologization techniques, soil blackening, fertility, mineral nutrition, fruit composition, productivity.