

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>
УДК: (635.132+635.11):581.192.1

С.В. Белова^{1,2*}

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

² Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Россия, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

*Автор для переписки: zonechka-belka@mail.ru

Конфликт интересов. Автор подтверждает отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: Белова С.В.: проведение исследований диагностики минерального питания моркови и свёклы столовой, проведение лабораторной оценки, работа с литературой, подготовка материалов для статьи, анализ полученных результатов, статистическая обработка данных.

Для цитирования: Белова С.В. Диагностика минерального питания моркови и свёклы столовой при органической и минеральной системах удобрения. *Овощи России*. 2024;(4):69-79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>

Поступила в редакцию: 15.05.2024

Принята к печати: 18.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Sofia V. Belova^{1,2*}

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FVSC) 14, Selektsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

² All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center 500, Vereya village, Ramensky urban district, Moscow region, Russia

*Corresponding Author: zonechka-belka@mail.ru

Conflict of interest. The author declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: Belova S.V.: carrying out researches of diagnostics of mineral nutrition of carrots and red beet, carrying out laboratory estimation, work with literature, preparation of materials for manuscript, analysis of the received results, statistical processing of data.

For citation: Belova S.V. Diagnostics of mineral nutrition of carrot and red beet at organic and mineral fertilization systems. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):69-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>

Received: 15.05.2024

Accepted for publication: 18.06.2024

Published: 08.07.2024

Диагностика минерального питания моркови и свёклы столовой при органической и минеральной системах удобрения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В переходе к высокопродуктивному и экологически чистому, в частности, органическому, сельскому хозяйству и производству безопасной и качественной продукции, что является приоритетным направлением стратегий научно-технического развития РФ, одним из необходимых звеньев является создание и контроль оптимальных условий питания растений, т.е. обеспеченности растений питательными веществами в нужном сочетании в течение всей вегетации. Достижение таких условий возможно за счет проведения почвенной и растительной диагностики питания, которая в свою очередь позволяет установить способность культур усваивать питательные вещества из почвы и корректировать дозы минеральных удобрений в качестве подкормок.

Материал и методика. На аллювиальной луговой почве в условиях Нечернозёмной зоны России изучали эффективность корневых подкормок макроэлементами (NPK) по итогам растительной и почвенной диагностики питания столовых корнеплодов при выращивании на органической и минеральной системах удобрений. Растительную и почвенную диагностику минерального питания проводили по методике Церлинг В.В. (1990) и Магницкого К.П. (1972). В ходе опыта испытывали две культуры: свёкла столовая сорта Мулатка и морковь столовая сорта Лосиноостровская 13.

Результаты и обсуждения. Корневые подкормки на основе диагностики питания по анализу почвы и черешка листа растений внесли существенные изменения в динамику основных питательных элементов в почве, была зафиксирована прибавка нитратного азота и подвижного калия в сравнении с контрольным вариантом, при естественной обеспеченности почвы подвижным фосфором (250 мг/кг), что положительно отразилось на корневом питании растений. При основном внесении минеральных и органических (биокомпост БИУД) удобрений, корневых подкормок по диагностике питания получена урожайность моркови 51,2-63,9 т/га со стандартностью 87,4-94,6%, свёклы столовой 41,7-54,2 т/га со стандартностью 80,7-92,3%. Корневая подкормка моркови по почвенной диагностике $N_{52}K_{14}$ на фоне биокомпоста дала 24,9% прибавки к контролю, по растительной диагностике N_{17} дала 16,6%; свёклы столовой по почвенной диагностике $N_{65}K_{45}$ – 30% прибавки, по растительной диагностике $N_{54}K_{30}$ – 23,7%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

морковь столовая, свёкла столовая, минеральные удобрения, органические удобрения, урожайность, элементы питания, нутритивная диагностика, почвенная диагностика

Diagnostics of mineral nutrition of carrot and red beet at organic and mineral fertilization systems

ABSTRACT

Relevance. In the transition to highly productive and environmentally friendly, in particular, organic agriculture and production of safe and high-quality products, which is a priority direction of strategies of scientific and technological development of the Russian Federation, one of the necessary links is the creation and control of optimal conditions of plant nutrition, i.e. provision of plants with nutrients in the right combination throughout the vegetation. Achievement of such conditions is possible through soil and plant nutrition diagnostics, which in turn allows to establish the ability of crops to assimilate nutrients from the soil and adjust the doses of mineral fertilisers as top dressings.

Material and Methods. On alluvial meadow soil in the conditions of the non-Black Earth region of Russia, the effectiveness of root feeding with macronutrients (NPK) was studied according to the results of plant and soil diagnostics of table root crops nutrition when grown on organic and mineral fertiliser systems. Plant and soil diagnostics of mineral nutrition was carried out according to the methods of Zerling V.V. (1990) and Magnitsky K.P. (1972). Two crops were tested during the experiment: red beet variety Mulatka and garden carrot variety Losinoostrovskaya 13.

Results and Discussion. Root fertilizers on the basis of nutrition diagnostics on the basis of soil and leaf petiole analysis made significant changes in the dynamics of basic nutrients in the soil, there was an increase in nitrate nitrogen and mobile potassium in comparison with the control variant, with natural soil supply of mobile phosphorus (more than 250 mg/kg), which had a positive effect on the root nutrition of plants. At the main application of mineral and organic (biocompost BIUD) fertilizers, root fertilizers according to nutrition diagnostics the carrot yield 51,2-63,9 t/ha with standard 87,4-94,6%, red beet 41,7-54,2 t/ha with standard 80,7-92,3% were obtained. Root feeding of carrots by soil diagnostics $N_{52}K_{14}$ on the background of biocompost gave 24.9% increase to the control, by plant diagnostics N_{17} gave 16.6%; red beet by soil diagnostics $N_{65}K_{45}$ – 30% increase, by plant diagnostics $N_{54}K_{30}$ – 23.7%.

KEYWORDS:

carrot, red beet, mineral fertilisers, organic fertilisers, yield, nutritional elements, nutritional diagnostics, soil diagnostics

Check for updates



Введение

Сельскохозяйственный сектор во всем мире испытывает огромную нагрузку, связанную с необходимостью обеспечения устойчивого производства для постоянно растущего населения. Роль урбанизации в этом отношении крайне негативна, поскольку антропогенная деятельность приводит к тому, что почвы становятся непродуктивными, а чрезмерное внесение неоправданно больших доз удобрений приводит к ухудшению экологической ситуации. Чтобы обеспечить устойчивое, безопасное и стабильное сельское хозяйство, необходимо находить способы борьбы с биотическими и абиотическими стрессами [1].

Абиотический стресс подразумевает под собой влияние на растения стрессовых условий, возникающих за счет неживых факторов природы. Эдафические факторы, иными словами почвенные, в современном мире очень сильно подвержены антропогенному воздействию. Дефицит элементов питания, изменение механического состава почвы, ее плотности, а также недостаток или переизбыток влаги, все это приводит к потере плодородия почвы, без которого невозможно получить высокую урожайность и качественную продукцию. Для сохранения плодородия почв необходимо отслеживать динамику основных питательных веществ в ее плодородном слое, а также вносить научно обоснованные нормы минеральных и органических удобрений.

Потребность растений в удобрениях зависит, как известно, от содержания в почве доступных для данной культуры питательных веществ, от темпа развития растений, от их способности использовать питательные вещества почвы и удобрений, а также от величины планируемого урожая. Поэтому необходимо следить за обеспеченностью растений питательными веществами в течение вегетации.

Методика почвенной и растительной диагностики рекомендуется как один из методов агрохимии для проведения контроля обеспеченности питания растений, а также получения планируемых высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Почвенная диагностика позволяет определить потенциал плодородия почв, для этого необходимо дать допосевную характеристику свойств почвы в пахотном и под-пахотном слоях и в течение вегетации проводить контроль изменений наиболее динамичных её свойств [2].

Растительная диагностика позволяет определить за счет изменения химического состава растений по периодам вегетации степень его обеспеченности питательными веществами в процессе формирования урожая. Данный метод используется в следующих направлениях: для контроля питания растений и выявления необходимости подкормок; для уточнения системы применения удобрений; при агрохимической характеристике почвы по содержанию доступных для растений форм соединений питательных веществ; для выяснения селекционерами способности сортов использовать питательные вещества почвы и удобрений; при исследованиях вопросов питания растений [2]. Она может быть визуальной, по характерным признакам голодания, а также химической, в том числе тканевой (определение валового содержания питательных

веществ или неорганических форм). Лучшим индикаторным органом для тканевой диагностики чаще всего являются черешки листьев [3].

Теоретической основой растительной диагностики являются закономерности питания растений по этапам формирования урожая.

В ряде случаев показания метода растительной диагностики не согласовываются с данными почвенных анализов по содержанию подвижных форм питательных элементов. Полученные результаты указывают на необходимость оптимизации применения удобрений и более тщательной разработки лимита обеспеченности растений отдельными элементами питания как для метода растительной, так и почвенной диагностики с учетом большого количества элементов и различных иных факторов: климатических, почвенных и т.д.

Главная проблема овощеводства России – стремительное обеднение почв и как следствие невысокая урожайность и низкое качество продукции, поэтому курс стратегии овощеводства в 21 веке должен быть направлен именно на решение этих проблем, так как в скором будущем проблема питания человечества будет одной из самых важных [4].

В настоящее время для развития будущего овощеводства необходимо не просто повышать урожайность за счет внесения удобрений, но и сохранять уникальное биокосное вещество, как важнейший компонент экологической системы, которая в свою очередь зависит от множества факторов. Почвенная и растительная диагностика питания растений позволяет установить способность культур усваивать питательные вещества из почвы и корректировать дозы минеральных удобрений в качестве подкормок. Исходя из этого достигается эффективное и экологически безопасное использование минеральных удобрений, так как не вносятся большие дозы основного удобрения, которые не всегда полностью используются растениями за весь период вегетации.

Цель исследования – выявить эффективность корневых подкормок макроэлементами (NPK) по итогам растительной и почвенной диагностики питания столовых корнеплодов (свёкла, морковь) при выращивании на органической и минеральной системах удобрений.

Задачи исследований:

1. Определить динамику основных питательных веществ в почве при выращивании столовых корнеплодов с внесением подкормок;
2. Провести сравнительный анализ содержания основных элементов минерального питания в почве и черешках листьев столовых корнеплодов при органической и минеральной системах удобрений;
3. Определить агрономическую эффективность корневых подкормок основными макроэлементами (урожайность).

Объекты и методы исследования

В ходе опыта возделывались две культуры: свекла столовая сорта Мулатка и морковь сорта Лосиноостровская 13.

Мулатка – сорт свеклы столовой (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.). Включен в Госреестр в 2003 году по Волго-Вятскому и Центрально-Черноземному

регионам для садово-огородных участков, приусадебных и мелких фермерских хозяйств. Рекомендуются для использования в кулинарии и для зимнего хранения. Сорт среднеспелый. Период от полных всходов до начала технической спелости 125-130 дней. Розетка листьев стоячая. Лист овальный, зеленый, слабопузырчатый, волнистость края слабая. Черешок с нижней стороны фиолетовый. Корнеплод округлый, опробковение головки отсутствует или очень слабое. Мякоть красная. Масса корнеплода 160-360 г. Вкусовые качества хорошие и отличные. Содержание сухого вещества – 18,3-19,8%, общего сахара – 14,2-14,6%.

Урожайность в Волго-Вятском регионе – 258-447 ц/га, на уровне стандарта Двусемянная ТСХА, в Центрально-Черноземном регионе – 249-405 ц/га, на 33-53 ц/га выше стандарта Двусемянная ТСХА. Максимальная урожайность – 470 ц/га, на уровне стандарта Бордо 237 (Чувашская Республика). Выход товарной продукции 81-98%, на уровне стандартов. Ценность сорта: высокий выход товарной продукции, хорошая лежкость корнеплодов и высокие вкусовые качества. Оригинатор ООО «АГРОФИРМА ПОИСК» [5].

Лосиноостровская 13 – сорт моркови (*Daucus carota* L.). включен в Госреестр в 1964 году по Северо-Западному, Центральному, Волго-Вятскому, Северо-Кавказскому, Средневолжскому, Западно-Сибирскому и Дальневосточному регионам. Характеризуется крупными корнеплодами оранжевого цвета с сочной и сладкой мякотью. Срок созревания средний, 80-118 дней после появления всходов. Условия выращивания: товарное производство. Листовая розетка прямостоячая или слегка раскидистая, высотой 35-40 см. Розетка состоит из 13, реже из 11 насыщенно-зеленых листьев ромбовидной или треугольной формы с сильно изрезанным контуром. Корнеплоды цилиндрической формы с закругленным или заостренным основанием достигают 12,5-16 см в длину, 3,2-4,2 см в диаметре, массой 75-165 г. Поверхность гладкая, на ней расположены небольшие глазки и тонкие боковые корневые отростки. Кожура тонкая, с легким глянцевым блеском, мякоть оранжевого цвета, сердцевина ярко выраженная, в разрезе круглая или граненная. В 100 г корнеплодов содержится общего сахара – 8-9%; бета-каротин – около 28 мг. Средняя урожайность – 540-770 ц/га. Оригинатор – ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» [5].

Лабораторно-полевые опыты проводились на опытном участке отдела земледелия и агрохимии ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО на аллювиальной луговой среднесуглинистой почве Центральной части Москворецкой поймы (Раменский район Московской обл.).

Схема опыта

- 1 Контроль – без удобрений
- 2 NPK в основное внесение (расчётная доза)
- 3 Биокomпост в основное внесение (фон)
- 4 Биокomпост в основное внесение (фон) + подкормка NPK по анализу черешка листа (растительная диагностика питания)
- 5 Биокomпост в основное внесение (фон) + подкормка NPK по анализу почвы (почвенная диагностика питания)

Расчётные дозы минеральных удобрений составили: для свёклы столовой для получения 50 т/га урожая – $N_{175}P_{75}K_{270}$, для моркови – 60 т/га урожая – $N_{105}K_{185}$. Биокomпост вносили в дозе 3 т/га под морковь и 6 т/га под свёклу столовую, что эквивалентно 90-60-60 кг/га д.в. удобрений под морковь и 180-120-120 кг/га д.в. – под свёклу столовую. Однако при этом представляется возможным недостаток питательных веществ, особенно азота, в связи с медленной минерализацией органических компонентов компоста и необходимость применения подкормок легкорастворимыми минеральными удобрениями.

Растительную и почвенную диагностику минерального питания проводили по методике Церлинг В.В. (1990) и Магницкому К.П. (1972) в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля). По результатам рассчитаны и внесены в подкормки азотно-калийные удобрения.

Для расчета подкормок по диагностике питания во время вегетации нами использована следующая формула:

$$D_p = D_o \times [1 - (X_{\text{фак}} / X_{\text{оптим}})],$$

где D_p – доза удобрений для подкормки, кг/га д.в.;

D_o – доза удобрений в основное внесение, кг/га д.в.;

$X_{\text{факт}}$ – фактическое содержание элемента в почве (мг/кг) или в черешках листьев (мг/кг сырой массы);

$X_{\text{оптим}}$ – оптимальное содержание элемента в почве (мг/кг) или в черешках листьев (мг/кг сырой массы) [1].

Результаты и их обсуждение

Динамика основных питательных веществ в почве при выращивании столовых корнеплодов с внесением подкормок.

Для выявления динамики питательных веществ и контроля питания растений в годы проведения исследований осуществлялся отбор проб в пахотном слое почвы с каждого варианта опыта. Средняя проба составлялась из пяти индивидуальных проб, отобранных тростевым буром методом конверта. Отбор проводился до посева корнеплодов во II декада мая, в I декада июля, в I декада августа и перед уборкой урожая (II декада сентября).

Исследования по динамике питательных веществ в пахотном слое почвы при выращивании столовых корнеплодов показали, что наибольшее содержание $N-NO_3$ наблюдалось в I декада июля, когда молодые растения еще слабо потребляли азот, а температура, влажность и аэрация почвы были на оптимальном уровне для нитрификации внесенных азотных удобрений (мочевина) и органического вещества. К концу вегетации содержание нитратного азота в пахотном слое существенно уменьшается из-за потребления азота растениями, уменьшением среднесуточных температур, вымыванием в нижележащие горизонты и др., а подвижного калия кроме того и частичного перехода в необменную форму.

Накопление нитратного азота и подвижного калия в почве под корнеплодами моркови зависело и от количества вносимых удобрений (рис. 1,2). Внесение расчётной дозы азота (105 кг/га д.в.) в составе NPK увеличивало содержание нитратов в почве в 2,5 раза по сравнению с контролем, а биокomпоста 3 т/га (90 кг/га

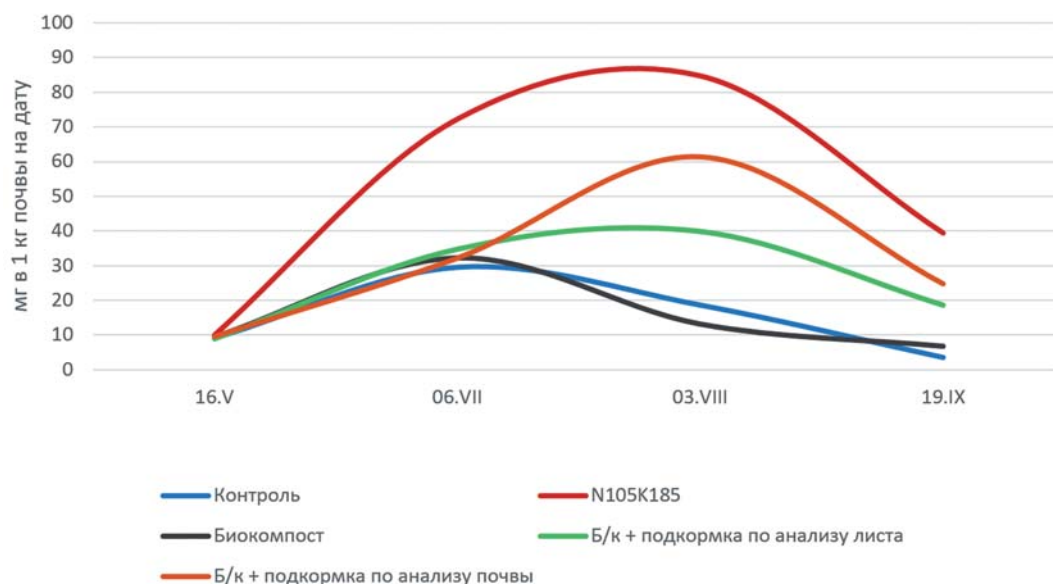


Рис. 1. Динамика N-NO₃ в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 1. Dynamics of N-NO₃ in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

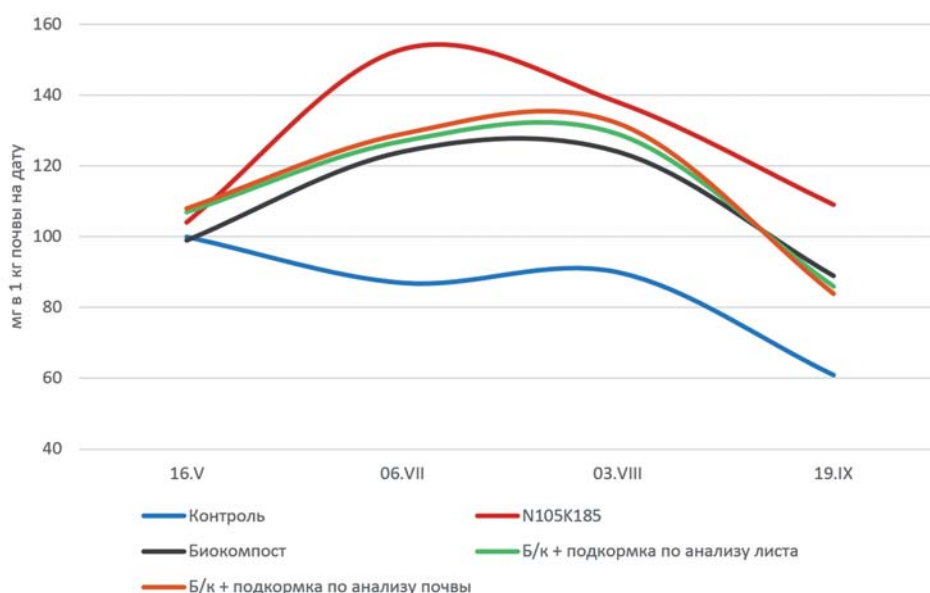


Рис. 2. Динамика K₂O в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 2. Dynamics of K₂O in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

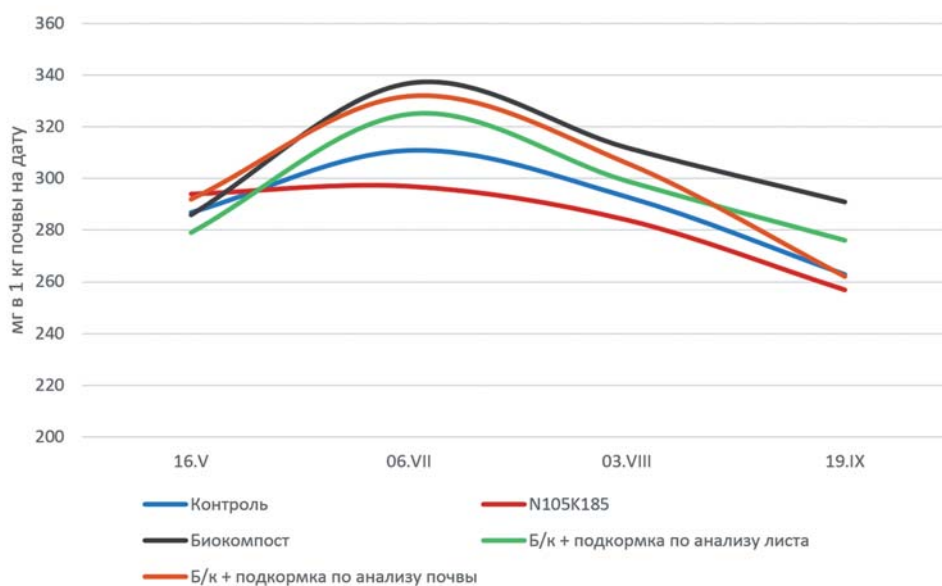


Рис. 3. Динамика P₂O₅ в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 3. Dynamics of P₂O₅ in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

д.в.) – в 1,1 раза в фазе начала образования корнеплодов моркови (июль). При использовании биокомпоста 3 т/га ощутимого увеличения нитратного азота в почве в сравнении с контролем не наблюдалось. Максимум подвижного калия зафиксирован в I декаде июля (рис. 2), в варианте расчётной дозы K_{185} больше контроля в 1,8 раза, а в варианте биокомпост 3 т/га ($60 \text{ кг/га } K_2O$) – в 1,4 раза больше, что создавало лучшие условия для питания растений.

Проведенная подкормка минеральными удобрениями по итогам почвенной диагностики ($N_{52} K_{14}$) в период максимального потребления растениями нитратного азота (рост корнеплода) обеспечила накопление $N-NO_3$ в почве до $6,13 \text{ мг/100 г}$ почвы против $1,31 \text{ мг}$ на варианте биокомпоста (в 4,7 раза) при контрольном измерении в I декаде августа. Подкормка по результатам растительной диагностики дозой N_{17} повышало содержание нитратов в почве до $3,98 \text{ мг}$, что выше, чем на варианте биокомпост в 3 раза.

Исходя из зарубежных источников, также рекомендуется внесение минеральных удобрений в сочетании с

органическими, при этом Sarah Tenelli и др. (2021) утверждают, что чрезмерное использование неорганических азотных удобрений может усилить микробиологическую деградацию органических соединений углерода, способствуя сокращению его запасов в почве в долгосрочной перспективе. Органические удобрения должны дополнять питание растений при обычном режиме внесения N, не злоупотребляя величиной дозировки [6].

В опытах Alexis Thoumazeau и др. (2024) представлены данные, свидетельствующие о том, что наибольшее накопление калия происходило на вариантах с внесением минеральных калийных удобрений в сочетании с зелеными удобрениями – сидератами, нежели при внесении только минеральных удобрений. Данные авторы также утверждают, что такая система удобрений улучшала структуру почвы [7].

Исследования по динамике накопления нитратного азота и подвижного калия в пахотном слое почвы под свёклой столовой показали, что наибольшее содержание $N-NO_3$ и K_2O , наблюдалось в I декаде июля, анало-

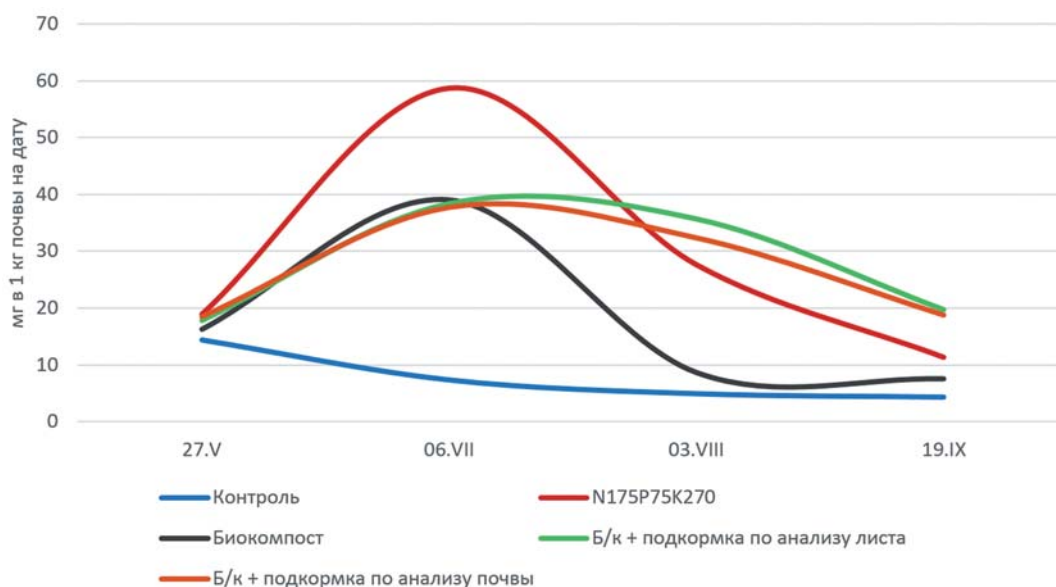


Рис. 4. Динамика $N-NO_3$ в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 4. Dynamics of $N-NO_3$ in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

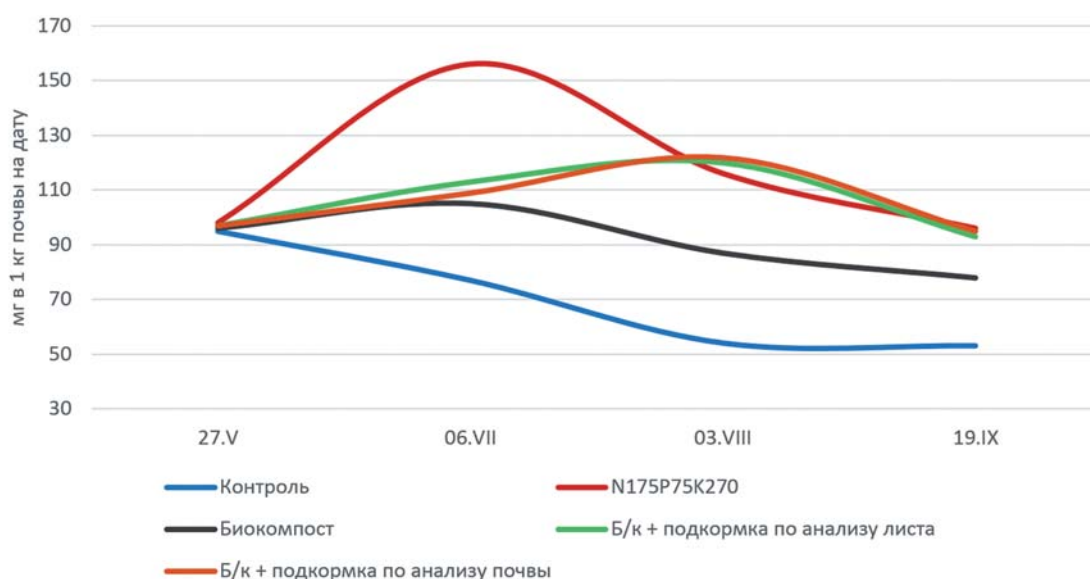


Рис. 5. Динамика K_2O в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 5. Dynamics of K_2O in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

гично накоплению нитратов и калия под морковь (рис. 4,5). К концу вегетации содержание нитратного азота и подвижного калия в пахотном слое существенно уменьшается, в том числе и из-за интенсивного потребления растениями свёклы столовой. Внесение расчётной дозы N_{175} повышало содержание нитратов в почве в 7,9 раза, а биокomпоста 6 т/га (180 кг/га) – в 5,3 раза в сравнении с контролем. Проведённые подкормки по анализу почвы N_{65} K_{45} и по анализу черешка листа N_{54} K_{30} повышали содержание нитратов (в 3,7 и 4,1 раза в сравнении с фоном биокomпост) и подвижного калия (в 1,4 и 1,38 раза) в почве в I декаде августа, т.е. улучшали питательный режим почвы.

Jérémie Naumont и др. (2023) рекомендуют для улучшения накопления питательных элементов в почве не дробное внесение минеральных удобрений, а локализованное. При накоплении нитратного азота в почве, данный метод может потенциально снизить воздействие интенсивного выращивания овощей на окружающую среду [8].

Динамика содержания подвижного фосфора под морковь и свеклой столовой выражена слабее, нежели нитратов (рис. 3,6). В опыте фиксировалось некоторое увеличение содержания подвижных форм фосфора I декаде июля, и затем его плавное снижение к концу вегетации растений из-за потребления его, а также переходом в труднодоступные формы. Подкормки фосфорными удобрениями не проводились по итогам диагностик питания. В целом, во все сроки наблюдения, класс почвы по обеспеченности фосфором оставался высоким (более 250 мг/кг) вне зависимости от удобрений.

В зарубежной литературе, есть данные по накоплению фосфора, утверждающие, что компосты, обогащенные множеством питательных веществ (NPKEC), увеличили содержание фосфора на 62-69% по сравнению с контрольными участками. Внесение NPK привело к увеличению недоступной фракции P, в то время как компосты снизили концентрацию недоступного P, что свидетельствует о более сильных их преимуществах. Внесение компоста стимулировало значительно более высокую активность фосфатаз по сравнению с мине-

ральными удобрениями, Mahnaz Roohi и др (2020) утверждает о наличии сильной связи микробной биомассы P (МБР) и кислых фосфатов (АСР) с фракцией недоступного фосфора и указывает на то, что умеренно доступный цикл фосфора в почве в основном обусловлен процессами, связанными с микробами. Результаты их опыта показывают, что комбинация микробно-ризосферных процессов контролирует динамику фертильности фосфора. В более широком контексте повышения плодородия почвы Mahnaz Roohi и др. (2020) настоятельно рекомендуют использовать экологически устойчивые источники удобрений, такие как NPKEC [9].

Проведённые подкормки на основе диагностики питания по анализу почвы и черешка листа растений корнеплодов позволили в существенной мере увеличить в почве нитратный азот и подвижный калий, при высоком содержании подвижного фосфора, что положительно отразилось на корневом питании растений. Динамика питательных веществ, которую мы получили за счет внесения удобрений исключает деградацию почв и как следствие потерю почвенного плодородия, что способствует увеличению урожайности.

Сравнительный анализ содержания основных элементов минерального питания в почве и черешках листьев столовых корнеплодов при органической и минеральной системах удобрений.

В решении важнейших задач повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения их качества большое место занимают вопросы создания оптимальных условий питания, обеспечения растений питательными веществами в течение всей вегетации. Агрохимические анализы почвы позволяют судить о ее насыщенности питательными веществами и степени их подвижности и доступности растениям. Однако количество действительно доступных растениям веществ можно установить только с помощью самого растения. Поэтому наряду с анализами почвы и полевыми опытами с удобрениями необходим контроль за питанием растений в течение вегетации. Такой контроль возможен благодаря методам растительной диагностики. По результатам растительной диагно-

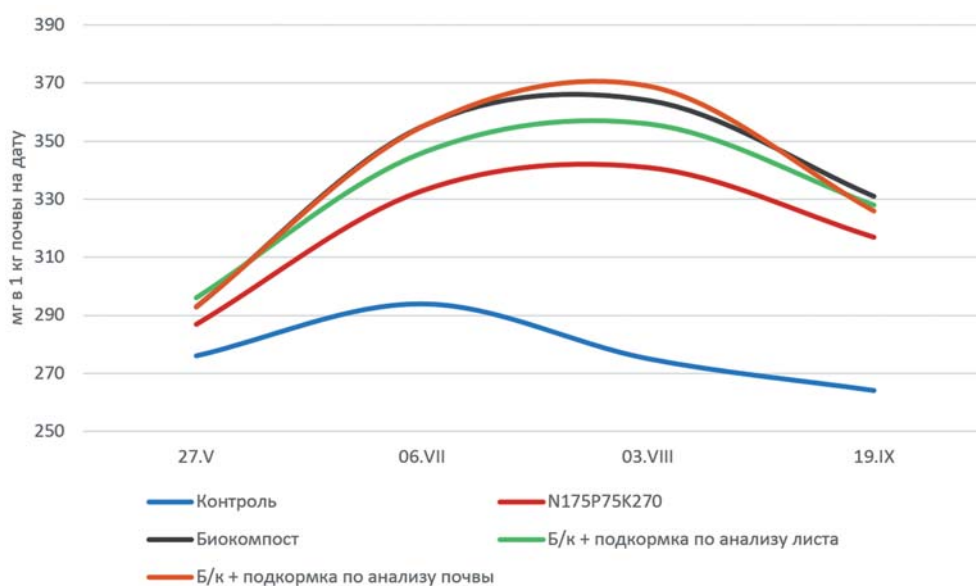


Рис. 6. Динамика P_2O_5 в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 6. Dynamics of P_2O_5 in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

стики можно определять потребность растений в подкормках и корректировать систему удобрения в последующие годы [10].

Метод тканевой диагностики основан на определении содержания неорганических соединений элементов – нитратов, фосфатов и др., которых, как известно, больше бывает в сосудо-проводящих системах и в нижних ярусах растений. В данном опыте в пробу для химического анализа входили черешки средних ярусов растений. Диагностикой «по черешку» можно достаточно хорошо контролировать условия питания растений в течение вегетации в ответственные для создания урожая фазы роста и развития. Значение этого метода повышается при диагностике питания элементами, для которых пока нет чётких критериев

обеспеченности овощных культур по анализу почвы, в частности, для азота [11].

Для контроля над минеральным питанием столовых корнеплодов в соответствии с программой исследований была проведена диагностика питания по анализу почвы и черешка листа.

В таблице 1 приведены оптимальные значения содержания макроэлементов в почве и черешке листа свеклы столовой сорта Мулатка и моркови сорта Лосиноостровская 13 полученные на фоне вариант расчетной дозы NPK. Учитывая, что оптимальные нормативы содержания NPK для данных культур устарели [2,3], для определения эффективности применения подкормок результаты диагностики питания сравниваются с содержанием макроэлементов на варианте расчетной дозы.

Таблица 1. Оптимальные значения содержания макроэлементов в почве и в черешке листа корнеплодов по варианту расчетной дозы NPK (2021–2023 годы)
Table 1. Optimal values of macronutrients content in soil and in the leaf petiole of root crops according to the variant of calculated NPK dose (2021-2023)

Вариант	Почва, мг/кг сухой почвы			Черешок листа, мг/кг сырой массы черешка		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Морковь (N₁₀₅K₁₈₅), фаза начала образования корнеплодов						
2021 г.	63	320	174	527	376	6640
2022 г.	72	295	154	527	288	6067
2023 г.	88	304	169	478	302	5906
В среднем за 3 года	74	306	166	511	322	6204
Свекла столовая (N₁₇₅P₇₅K₂₇₀), фаза начала образования корнеплодов						
2021 г.	38	325	171	4018	3490	5973
2022 г.	58	332	154	4018	2960	5693
2023 г.	43	324	178	3795	3040	6003
В среднем за 3 года	46	327	168	3944	3163	5890

Таблица 2. Почвенная и растительная диагностика питания в фазу начала образования корнеплодов моркови столовой сорта Лосиноостровская 13 (2021-2023 годы)
Table 2. Soil and plant diagnostics of nutrition in the phase of the beginning of root formation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13 (2021-2023)

Вариант	мг/кг сухой почвы / мг/кг сырой массы черешка			Расчётная доза подкормок, кг/га		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
По анализу почвы в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокомпоста 3 т/га						
2021 г.	32	332	132	44	0	14
2022 г.	32	336	124	50	0	12
2023 г.	28	321	130	61	0	16
В среднем за 3 года	31	330	129	52	0	14
Оптимальные значения	74	306	166	-	-	-
По анализу черешка листа в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокомпоста 3 т/га						
2021 г.	448	295	6090	13	13	5
2022 г.	415	336	6440	19	0	0
2023 г.	377	278	5890	19	5	0
В среднем за 3 года	413	303	6140	17	6	2
Оптимальные значения	511	322	6204	-	-	-

При анализе таблицы 2 установлено, что внесение биокomпоста в дозах 3 т/га под морковь уступает минеральному удобрению по обогащению пахотного слоя почвы нитратами и подвижным калием в фазу начала образования корнеплодов. В сравнении с расчетной дозой, потенциально-доступное питание в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) на варианте с внесением биокomпоста под морковь ниже на 58% по нитратному азоту и на 22% по подвижному калию. Не обнаружены значительные изменения подвижного фосфора ввиду высокой естественной обеспеченности аллювиальной луговой почвы фосфатами, в т.ч. трудно-растворимыми. Таким образом, при внесении биокomпоста, в сравнении с расчётной дозой NPK, отмечен недостаток доступного минерального азота и калия. На основании результатов анализов были рассчитаны следующие дозы подкормки $N_{52}K_{14}$.

При химическом анализе черешков листьев в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) выяснено, что на варианте с внесением биокomпоста черешки содержали меньше нитратного азота, фосфора и калия в сравнении с вариантом расчётной дозы $N_{105}K_{185}$ (табл. 2), нитратного азота меньше на 19%, фосфора – на 6% и калия – на 1%. На основании результатов анализов была рассчитана подкормка по азоту в размере 17 кг/га, подкормки меньше 10 кг/га не вносились, так как это не рационально.

По результатам почвенной диагностики растение нуждалось в большой подкормке, чем при растительной диагностики.

По анализу почвы (табл. 3) в фазу начала образования корнеплодов свеклы столовой в варианте с внесением биокomпоста в сравнении с вариантом расчётной дозы, содержание нитратного азота меньше на 35%, фосфора на 3% и калия на 37,5%. По содержанию фосфора в пахотном слое изменения не значительны, что может быть связано с естественной высокой обеспеченностью аллювиальной луговой почвы фосфатами. Таким образом, для возмещения питательных элементов были рассчитаны подкормки по азоту и калию в размере 65 и 45 кг/га соответственно.

При проведении растительной диагностики в фазу начала образования корнеплодов выяснено, что содержание всех изучаемых в данной работе макроэлементов меньше на варианте с внесением биокomпоста, чем при расчётной дозе NPK. Нитратного азота меньше на 30%, фосфора на 5% и калия на 25%. На основании результатов анализов была рассчитана подкормка по азоту в размере 54 кг/га и по калию 30 кг/га.

По результатам почвенной диагностики растение нуждалось в большой подкормке, чем при растительной диагностики.

Агрономическая эффективность корневых подкормок основными макроэлементами

Создание и контроль оптимальных условий питания растений, залог получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Минеральные и современные органические (биокomпосты) удобрения при правильном их использовании являются важнейшим фактором повышения урожайности и качества продукции. При помощи их можно изменять направленность процессов обмена веществ в нужную сторону, способствовать большему накоплению в растениях полезных для человека веществ: витаминов, углеводов и т.д. Однако использование минеральных удобрений должно быть дробное, т.е. сочетание основного осеннего внесения с подкормками в течение сезона в соответствии с потребностями растений [12].

При использовании минеральных удобрений, внесение органических удобрений также необходимо, в частности современные биокomпосты – важный источник элементов минерального питания, микроэлементов и углерода для растений и почвенной биоты, средство улучшения агрономических свойств почвы, а именно структуры почвы, и пополнение запаса гумуса в ней, а гумус в свою очередь является основным фактором почвенного плодородия [13].

Морковь, сорт Лосиноостровская 13. В результате учёта урожайности корнеплодов моркови (табл. 4) во II декаде сентября, определена агрономическая эффективность проведения подкормок. В опыте достигнута общая урожайность моркови от 51,2 до 63,9 т/га со 87-

Таблица 3. Почвенная и растительная диагностика питания в фазу начала образования корнеплодов свеклы столовой сорт Мулатка (2021-2023 годы)

Table 3. Soil and plant nutrition diagnostics in the phase of the beginning of root formation of red beet variety Mulatka (2021-2023)

Вариант	мг/кг сухой почвы / мг/кг сырой массы черешка			Расчётная доза подкормок, кг/га		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
По анализу почвы в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокomпоста 6 т/га						
2021 г.	24	308	93	66	6	55
2022 г.	39	322	108	59	4	36
2023 г.	26	321	114	71	1	43
В среднем за 3 года	30	317	105	65	4	45
Оптимальные значения	46	327	168	-	-	-
По анализу черешка листа в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокomпоста 6 т/га						
2021 г.	3003	2957	4631	45	18	27
2022 г.	2533	3090	4213	67	0	31
2023 г.	2746	2942	4345	50	4	33
В среднем за 3 года	2761	2996	4396	54	7	30
Оптимальные значения	3944	3163	5890	-	-	-

94% стандартной продукции. Прибавка к контрольному варианту составила от 5 до 25%. При основном внесении расчётной дозы $N_{105}K_{185}$ прибавка урожайности составила 11,4 т/га (22%), на варианте основного внесения биокomпоста в дозе 3 т/га – 2,6 т/га (5%); дополнительная корневая подкормка дозой N_{17} по анализу черешка листа обеспечила 8,5 т/га прибавки (17%), а лучший в опыте эффект получен при корневой подкормке по анализу почвы $N_{52}K_{14}$ на фоне биокomпоста – 12,7 т/га прибавки (25%), при этом достоверного отличия (учитывая HCP_{05}) от варианта с расчётной дозой $N_{105}K_{185}$ не выявлено.

Установка доз подкормок минеральными удобрениями за счет диагностики питания растений в системе агротехнических мероприятий при выращивании сельскохозяйственных культур позволяет добиться тонкой коррекции процессов роста, развития и формирования хозяйственно-ценной части урожая [1].

По результатам исследований морковь проявляет себя как культура преимущественно минерального типа питания, а именно наиболее высокая урожайность была получена при использовании минеральных удобрений и при использовании их в сочетании с органическими удобрениями.

Учитывая то, что под морковь вносились азотные и калийные удобрения без фосфорных, можно отметить их роль в повышении урожайности. При внесении расчётной дозы урожайность составила 62,6 т/га, и при внесении подкормки по анализу почвы – 63,9 т/га, что выше на 22,4% и 24,9% чем на контрольном варианте. Данная разница может свидетельствовать о том, что азот и калий выступают лимитирующими элементами для моркови столовой на почве опытного участка.

Вариант с внесением биокomпоста уступает по эффективности минеральным удобрениям. Прибавка от последствия органических удобрений по сравнению с контролем составила 5,1%, однако это меньше на 17,3%, чем прибавка от минеральных удобрений. Это можно объяснить недостаточной обеспеченностью почвы азотом и подвижным калием, а также различной скоростью разложения органических удобрений.

В ходе работы были установлены некоторые закономерности влияния удобрений на товарность столовых корнеплодов.

Положительное влияние на товарность корнеплодов моркови оказывали минеральные удобрения и органические в сочетании с минеральными при дробном внесении. Наибольший процент стандартности продукции

Таблица 4. Урожайность моркови столовой сорта Лосиноостровская 13 при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 4. Yield of carrot cv. Losinoostrovskaya 13 under mineral and organic fertilisation systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га					Урожайность стандартная, т/га				
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	%	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от общей
Без удобрений (к.)	52,1	53,2	48,2	51,2	100,0	45,3	45,7	43,1	44,7	87,4
$N_{105}K_{185}$ (60 т/га)	64,3	64,1	59,5	62,6	122,4	60,4	59,9	56,2	58,8	93,9
Биокomпост 3 т/га	54,8	55,2	51,3	53,8	105,1	49,3	49,8	47,1	48,7	90,6
Б/к + подкормка по анализу листа	61,2	61,8	56,0	59,7	116,6	56,3	56,6	52,2	55,0	92,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	66,5	65,7	59,5	63,9	124,9	63,2	61,7	56,4	60,4	94,6
HCP_{05}	-	-	-	2,2	3,8	-	-	-	-	-

Таблица 5. Дисперсионный анализ отклонений от среднего урожая моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Table 5. Analysis of variance of deviations from the average yield of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F факт	Fтеор	Влияние фактора, %
Общая	383,2	14	27,4	–	–	100,0
Повторений	2,1	2	1,0	0,8	19,37	0,5
Вариантов	370,2	4	92,6	68,1	3,84	96,6
Остаточная	10,9	8	1,4	–	–	2,8

Средняя ошибка выборочной средней $S_x = 0,67$ т/га
Ошибка разности между выборочными средними $S_d = 0,95$ т/га
Относительная ошибка выборочной средней $S_x \% = 1,16\%$
Коэффициент вариации $V = 2,00\%$

Таблица 6. Урожайность свёклы столовой сорт Мулатка при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 6. Yield of red beet cv. Mulatka under mineral and organic fertilisation systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га					Урожайность стандартная, т/га				
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от К	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от общей
Без удобрений (контроль)	45,2	38,4	41,5	41,7	100,0	36,9	30,7	33,4	33,7	80,7
N ₁₇₅ P ₇₅ K ₂₇₀ (50 т/га)	58,5	47,2	52,3	52,7	126,3	54,8	42,7	46,1	47,9	90,9
Биокомпост 6 т/га	53,9	40,8	45,6	46,8	112,2	49,3	35,6	40,9	41,9	89,7
Б/к + подкормка по анализу листа	58,0	46,9	49,9	51,6	123,7	53,7	41,0	43,4	46,0	89,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	60,7	49,3	52,6	54,2	130,0	56,5	45,4	48,2	50,0	92,3
HCP ₀₅	-	-	-	1,9	3,9	-	-	-	-	-

Таблица 7. Дисперсионный анализ отклонений от среднего урожая свеклы столовой сорт Мулатка
Table 7. Analysis of variance of deviations from the average yield of red beet cv. Mulatka

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _{факт}	F _{теор}	Влияние фактора, %
Общая	332,2	14	23,7	—	—	100,0
Повторений	9,6	2	4,8	4,6	4,46	2,9
Вариантов	314,3	4	78,6	75,5	3,84	94,6
Остаточная	8,3	8	1,0	—	—	2,5

Средняя ошибка выборочной средней $S_x=0,59$ т/га
Ошибка разности между выборочными средними $S_d=0,83$ т/га
Относительная ошибка выборочной средней $S_x \%=1,19\%$
Коэффициент вариации $V=2,07\%$

от общей был на варианте с подкормкой по почвенной диагностики – 94,6%.

Свекла столовая, сорт Мулатка. Получена общая урожайность свёклы столовой на уровне 41,7-54,2 т/га со стандартной продукцией 81-92% (табл. 6). Прибавка к контрольному варианту составила от 5,1 до 12,5 т/га (12-30%). Основное применение расчётной дозы N₁₇₅P₇₅K₂₇₀ позволило получить 52,7 т/га стандартной продукции, в т.ч. 42,6 т/га отборной (5-10 см в диаметре).

Применение подкормки по анализу листа N54K30 и анализу почвы N65K45 в фазу начала образования корнеплодов благоприятно отразилось на развитии растений свёклы, общая урожайность составила 51,6 и 54,2 т/га, стандартная 46,0 и 50,0 т/га, в т.ч. отборная 38,2 и 40,9 т/га. При этом достоверных отличий, учитывая HCP05, между вариантами с основным внесением расчётной дозы и подкормками в опыте не установлено.

Свекла столовая проявила себя в опыте как культура более отзывчивая к минеральному и органическому питанию [14]. Прибавки урожая от контроля в процентном соотношении более высокие чем у моркови. Можно отметить, что такие элементы питания, как азот и калий имеют весомое влияние на повышение

урожайности свеклы столовой. При внесении подкормки этими элементами на фоне биокомпоста урожайность возрастает на 23,7-30,0%.

Внесение биокомпоста в дозе 6 т/га дало минимальную прибавку урожайности, сказалась нехватка питательных веществ в почве, что подтверждается данными анализа почвы и черешков листьев, где содержание питательных веществ немногим превышало контрольный вариант. Также это может свидетельствовать о том, содержания питательных элементов в органическом удобрении недостаточно для нормального роста и развития столовой свеклы, а также данная система не подходит для эффективного земледелия и следует сочетать разные системы удобрений для полноценного питания культуры.

Стандартность корнеплодов свеклы столовой коррелировала с величиной урожайности, соответственно наилучший вариант был при внесении расчётной дозы минеральных удобрений и при подкормке по анализу почвы, составила она 90,9% и 92,3%.

Обобщая данные можно утверждать, что применение удобрений в основное внесение и подкормок вело к росту выхода стандартной продукции в сравнении с контролем, в том числе вследствие увеличения средней массы корнеплодов.

Заключение

1. На аллювиальной луговой почве Нечернозёмной зоны максимальное количество нитратного азота и подвижного калия в почве зафиксировано в фазе начала образования корнеплодов (I декада июля), особенно на вариантах с основным внесением расчётной дозы минеральных удобрений и биокомпоста (3 т/га под морковь и 6 т/га под свёклу). Проведённые подкормки азотно-калийными удобрениями повышали содержание $N-NO_3$ и K_2O в почве до конца вегетации растений. Обеспеченность подвижным фосфором во все сроки учёта на разных фонах была высокой (более 250 мг/кг).

2. При химическом анализе черешков листьев в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) выяснено, что на варианте с внесением биокомпоста черешки содержали меньше нитратного азота и больше фосфора и калия, в сравнении с вариантом расчётной дозы, а также, выше чем на контрольном варианте. На основании результатов растительной диагностики были рассчитаны дозы подкормки: для моркови N_{17} , для свёклы столовой $N_{54}K_{30}$. На основании результатов почвенной диагностики питания

были рассчитаны дозы подкормки для моркови $N_{52}K_{14}$, для свёклы столовой $N_{65}K_{45}$.

3. Урожайность моркови составила 51,2-63,9 т/га с выходом стандартной продукции 87,4-94,6%, урожайность свёклы столовой 41,7-54,2 т/га, выход стандартной продукции 80,7-92,3%. Минимальная урожайность получена на контроле, а также при основном внесении биокомпоста. Подкормки по результатам почвенной диагностики питания позволили повысить урожайность до 24,9% у моркови ($N_{52}K_{14}$) и до 30% у свёклы ($N_{65}K_{45}$) в сравнении с вариантом биокомпост в основное внесение. Подкормка по анализу черешков листьев также обеспечила улучшение питательного режима почвы и растений, что дало прибавку урожая моркови 16,6%, свёклы 23,7% к фону биокомпост.

В целом по результатам опыта достигнута высокая урожайность при использовании минеральной и органоминеральной системах удобрения. По полученным данным можно рекомендовать органоминеральную систему применения удобрений для производства овощных культур, так как помимо высокой урожайности, она исключает деградацию почв и как следствие потерю почвенного плодородия.

Литература

1. Борисов В.А., Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с.
2. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник – М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
3. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях. М., «Московский рабочий», 1972. 272 с.
4. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, ВНИИО, 2011. 650 с.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 632 с.
6. Tenelli S., Otto R., Bordonal R.O., Nunes Carvalho J.L. How do nitrogen fertilization and cover crop influence soil C-N stocks and subsequent yields of sugarcane? *Soil and Tillage Research*. 2021;(211):104999. <http://doi.org/10.1016/j.still.2021.104999>
7. Thoumazeau A., Mettauer R., Junedi H., Baron V., Chéron-Bessou C., Ollivier J. Effects of fertilization practices and understory on soil health and oil palm performances in smallholdings: An Indonesian case study. *Agricultural Systems*. 2024;(213):103802. <http://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103802>
8. Haumont J., Diels J., Schrevens E., Cool S., Lootens P., Saeys W. Assessment of fertilization strategies and policy measures for vegetables by simulation of a long-term cauliflower leek rotation. *European Journal of Agronomy*. 2023;(149):126902. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126902>
9. Roohi M., Arif M. S., Yasmeen T., Riaz M., Rizwan M., Shahzad S.M., Ali S., Bragazza L. Effects of cropping system and fertilization regime on soil phosphorous are mediated by rhizosphere-microbial processes in a semi-arid agroecosystem. *Journal of Environmental Management*. 2020;(271):111033. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111033>
10. Нелюбова Г.Л., Церлинг В.В. Растительная диагностика корневого питания сельскохозяйственных культур. М., ТСХА, 1979. 60 с.
11. Altland J. Plant Nutrition Diagnosis [Электронный ресурс] URL: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/nonpathogenic-phenomena/plant-nutrition-diagnosis>. Дата обращения: 19.08.22.
12. Vaziritabar Y., Frei M., Yan F., Vaziritabar Y., Honermeier B. Enhancing nitrogen use efficiency and plant productivity in long-term precrop/crop rotation and fertilization management. *Field Crops Research*. 2024;(306):109210. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109210>
13. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. РАСХН, ВНИИО, 2008. 776 с.
14. Солдатенко А.В., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М.: ФГБНУ ФНЦО, 2022. 504 с. <https://elibrary.ru/hbrgmw>

References

1. Borisov V.A., System of fertilisation of vegetable crops. Moscow: FGBNU «Rosinformagroteh», 2016. 392 p. (In Russ.)
2. Zerling V.V., Diagnostics of nutrition of agricultural crops: Handbook M.: Agropromizdat, 1990. 235 p. (In Russ.)
3. Magnitsky K.P. Diagnostics of plant needs in fertilisers. Moscow, «Moskovsky Rabochiy», 1972, 272 p. (In Russ.)
4. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M.: RASKHN – VNIYO, 2011. 650 p. (In Russ.)
5. State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 1. «Plant Varieties» (official edition). Moscow: FGBNU «Rosinformagroteh», 2023. 632 c. (In Russ.)
6. Tenelli S., Otto R., Bordonal R.O., Nunes Carvalho J.L. How do nitrogen fertilization and cover crop influence soil C-N stocks and subsequent yields of sugarcane? *Soil and Tillage Research*. 2021;(211):104999. <http://doi.org/10.1016/j.still.2021.104999>
7. Thoumazeau A., Mettauer R., Junedi H., Baron V., Chéron-Bessou C., Ollivier J. Effects of fertilization practices and understory on soil health and oil palm performances in smallholdings: An Indonesian case study. *Agricultural Systems*. 2024;(213):103802. <http://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103802>
8. Haumont J., Diels J., Schrevens E., Cool S., Lootens P., Saeys W. Assessment of fertilization strategies and policy measures for vegetables by simulation of a long-term cauliflower leek rotation. *European Journal of Agronomy*. 2023;(149):126902. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126902>
9. Roohi M., Arif M. S., Yasmeen T., Riaz M., Rizwan M., Shahzad S.M., Ali S., Bragazza L. Effects of cropping system and fertilization regime on soil phosphorous are mediated by rhizosphere-microbial processes in a semi-arid agroecosystem. *Journal of Environmental Management*. 2020;(271):111033. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111033>
10. Nelyubova G.L., Zerling V.V.. Plant diagnostics of root nutrition of agricultural crops / Textbooks and teaching aids. M., TSHA, 1979. 60 p. (In Russ.)
11. Altland J. Plant Nutrition Diagnosis. URL: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/nonpathogenic-phenomena/plant-nutrition-diagnosis>. Date of access: 19.08.22.
12. Vaziritabar Y., Frei M., Yan F., Vaziritabar Y., Honermeier B. Enhancing nitrogen use efficiency and plant productivity in long-term precrop/crop rotation and fertilization management. *Field Crops Research*. 2024;(306):109210. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109210>
13. Litvinov S.S. Scientific bases of modern vegetable growing. 2008. 776 p. (In Russ.)
14. Soldatenko A.V., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. M.: FSBSI FSVC, 2022. 504 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/hbrgmw>

Об авторе:

Софья Викторовна Белова – аспирант, младший научный сотрудник, автор для переписки, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-код: 4808-9461, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>

About the Author:

Sofia V. Belova – PhD student, Corresponding Author, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-код: 4808-9461, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>