

Управление фертигацией в овощеводстве

Fertigation management for vegetable growing

Федосов А.Ю., Меньших А.М., Соснов В.С.

Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Sosnov V.S.

Аннотация

Abstract

Овощи – важная составляющая сельского хозяйства, продовольственной безопасности России и пищевой безопасности людей. Вода и удобрения – два основных фактора производства овощей, и их влияние на рост растений, урожайность и качество продукции взаимосвязано. Использование фертигации в сочетании с микроорошением продолжает расширяться. Эта комбинация представляет собой техническое решение, при котором питательные вещества и вода могут подаваться культуре с высокой точностью во времени и пространстве, что обеспечивает высокую эффективность использования питательных веществ. Возможность подачи питательных веществ с низкой скоростью и высокой частотой улучшает доступность питательных веществ в корневой зоне и их усвоение растениями, а также снижает риск потери питательных веществ. Правильная оценка потребностей растений в питательных веществах и вода имеет основополагающее значение для обеспечения точного питания растений и высокой эффективности использования питательных веществ в системах орошаемого овощеводства. В статье представлено современное состояние и новые перспективы оптимального управления питательными веществами овощных культур, выращиваемых в режимах фертигации. Приводится общее описание наиболее ценных технологий и методов, основанных на имитационных моделях, тестировании почвы (почвенная диагностика), тестировании растений (диагностика питания растений) и соответствующих системах поддержки принятия решений, которые могут быть использованы для повышения эффективности фертигации. При этом лишь немногие из представленных технологий и приемов практически доступны и/или просты в использовании для овощеводов. В будущем следует уделять гораздо больше внимания передаче полученных результатов исследований и научных знаний с.-х. товаропроизводителям овощной продукции и техническим консультантам. Применение описанных в статье методов может оказать положительное влияние на экономическую и экологическую устойчивость с.-х. деятельности. При соблюдении оптимальных методов управления фертигацией можно гарантированно добиться высокой урожайности и качества овощной продукции.

Vegetables are important components of agriculture, Russia's food security and people's food security. Water and fertilizers are the two main factors in vegetable production, and their effects on plant growth, yield and product quality are interrelated. The use of fertigation in combination with micro-irrigation continues to expand. This combination is a solution in which nutrients and water can be supplied to the crop with high precision in time and space, resulting in high nutrient utilization efficiency. The ability to deliver nutrients at a low rate and at a high frequency improves nutrient availability in the root zone and uptake by plants, and reduces the risk of nutrient loss. Proper assessment of plant nutrient and water requirements is fundamental to ensure accurate plant nutrition and high nutrient efficiency in irrigated vegetable production systems. The article presents the current state and new prospects for optimal nutrient management of vegetable crops grown in fertigation regimes. A general description is given of the most valuable technologies and methods based on simulation models, soil testing (soil diagnostics), plant testing (plant nutrition diagnostics) and related decision support systems that can be used to improve the efficiency of fertigation. At the same time, only a few of the presented technologies and techniques are practically accessible and / or easy to use for vegetable growers. In the future, much more attention should be paid to the transfer of the obtained research results and scientific knowledge to agricultural vegetable producers and technical consultants. The application of the methods described in the article can have a positive impact on the economic and environmental sustainability of agricultural activities. With the observance of optimal methods of fertigation management, it is guaranteed to achieve high yields and quality of vegetable products.

Key words: fertigation, fertilizer, vegetable crops, soil diagnostics, plant nutrition diagnostics.

For citing: Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Sosnov V.S. Fertigation management for vegetable growing. Potato and vegetables. 2022. No11. Pp. 14-18. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.71.18.002> (In Russ.).

Ключевые слова: фертигация, удобрение, овощные культуры, почвенная диагностика, диагностика питания растений.

Для цитирования: Федосов А.Ю., Меньших А.М., Соснов В.С. Управление фертигацией в овощеводстве // Картофель и овощи. 2022. №11. С. 14-18. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.71.18.002>

Внесение удобрений и орошение – два наиболее важных фактора в овощеводстве, поскольку они сильно влияют на урожайность и качество продукции [1–3]. Рост применения фертигации в овощеводстве в основном связан с высокой эффективностью орошения (до 95% используемой воды), что частично способствует решению проблем нехватки воды, связанных как с ее низким качеством, так и с низким количеством на неко-

торых обрабатываемых площадях и прогрессивным развитием технологий орошения, которые существенно снизили стоимость оборудования для микроиригационных систем.

Фертигация – агрономическая операция, при которой удобрение растворяется в поливной воде и доставляется в корневую зону по системе орошения. Эта комбинация обеспечивает технические возможности для точного минерального питания как в пространстве, так и во времени [1, 4].

Современные и перспективные методы оптимального управления питанием овощных культур включают агрохимический анализ почвы, методы и инструменты мониторинга урожая, а также системы поддержки принятия решений (СППР).

Цель исследования: описать инновационные методы фертигации, применение которых может оказать положительное влияние на экономическую и экологическую устойчивость с.-х. деятельности.

Теоретически все водорастворимые удобрения можно было бы внести путем фертигации, но в течение многих лет поступление фосфора и микроэлементов таким методом на практике не рекомендовалось, так как при pH выше 7,0 легко может произойти их осаждение, что приводит к засорению ирригационной системы [3].

Наблюдаемое распределение питательных веществ при фертигации в основном связано со специфическими характеристиками отдельных ионов, а также с гидравлическими и химическими свойствами почвы [5]. Тем не менее другие факторы могут способствовать уменьшению или увеличению подвижности ионов в почве. Например, динамика ионов в почве также зависит от частоты фертигации и орошения.

Частая подача небольшого количества питательных веществ с поливной водой увеличивала доступность азота, фосфора и калия в корневой зоне и таким образом повышала урожайность и качество плодов томата [6]. Изучено влияние разной частоты фертигации (от одного до 14 дней) на растения томата с двумя разными дозами азота (200 и 300 N кг/га). Общее поглощение азота растениями было значительно выше при более частом применении. Подача азота малыми и частыми дозами (т. е. каждый день) снижает колебания концентрации питательных веществ в корневой зоне и возможный связанный с этим стресс от засоления, повышает доступность питательных веществ для овощных культур, а также снижает риск выщелачивания азота. Ежедневное внесение азота, фосфора и калия с поливной водой увеличивает доступность этих питательных веществ в корневой зоне, повышает урожайность и качество плодов томата и снижает потери азота и калия, особенно на песчаных почвах. Однако частые режимы фертигации непросты в управлении и могут увеличить потери воды из-за испарения с постоянно влажной поверхности почвы. В целом из-за низкой подвижности в почве многие товаропроизводители предпочитают вносить фосфор перед посевом: 20–30% от общего количества запланированных азотных и калийных удобрений.

Оптимальное управление фертигацией. При низкой концентрации питательных веществ в почве рост растений и урожайность ограничены. Увеличение концентрации питательных веществ в почве приводит

к увеличению роста/урожая овощных культур до тех пор, пока не будет достигнута минимально оптимальная концентрация рассматриваемого питательного вещества в корневой зоне. Как правило, превышение предела максимальной оптимальной концентрации питательных веществ приводит к снижению качества продукции, а затем – роста растений и урожайности. Между минимумом и максимумом в большом диапазоне концентраций питательных веществ в почве не наблюдается существенной разницы.

Основная цель эффективного управления фертигацией – удовлетворение как потребностей растений, так и минимизация потерь питательных веществ в почве. Для достижения этой цели необходимо точно оценить три основные переменные: потребность растений в питательных веществах, наличие питательных веществ в почве и доставка питательных веществ в соответствии с фазой развития овощных культур.

Знание доступности питательных веществ в почве имеет решающее значение для оптимизации управления фертигацией. Очень часто почвы под овощными культурами содержат избыточное количество питательных веществ. Поглощение азота, фосфора и калия растениями коррелирует с накоплением биомассы растений. Для овощных культур можно выделить две различные модели поглощения: листовые овощные культуры, такие как салат, шпинат и сельдерей, где кривая поглощения питательных веществ может быть хорошо представлена экспоненциальными функциями, с низкой потребностью в питательных веществах в первый период вегетационного периода с непрерывным увеличением потребления питательных веществ до сбора урожая; плодовые овощные культуры (томат, перец, баклажан, арбуз, дыня, тыква и др.), характеризующиеся относительно низким потреблением питательных веществ до цветения и максимальным потреблением питательных веществ во время цветения и раннего развития плодов.

Для эффективного управления фертигацией можно использовать два основных подхода. В первом случае доза удобрений может быть рассчитана до культивирования с учетом всех переменных, которые могут изменить концентрацию питательных веществ в корнеобитаемой зоне, и данных, собранных по системе культивирования, которые затем

используются для составления заранее «предписывающего» плана внесения удобрений. Следуя этому подходу, желаемая (целевая) концентрация питательных веществ может быть рассчитана как соотношение между количеством питательных веществ и воды, поглощаемых культурой за тот же период времени. Во втором случае фертигацией управляют с помощью «корректирующего» подхода: в начале вегетации под овощную культуру начинают вносить питательный раствор, и его питательный состав периодически корректируют на основе измерений/диагностики растений и/или почвы, чтобы избежать избытка или дефицита питательных веществ. Оба подхода могут быть объединены для одной и той же культуры: сначала перед посевом рассчитывают и вносят предписываемую дозу удобрения, а затем норму внесения удобрений корректируют в процессе вегетации в соответствии с сезонными изменениями состояния питания культуры, определяемыми измерениями почвы и/или растений.

Методы предписывающего управления фертигацией

Имитационное моделирование. Потребности растений в воде и удобрениях можно оценить с помощью имитационных (математических) моделей. Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами. К имитационному моделированию в растениеводстве прибегают в связи с существенными затратами и сложностью эксперимента на реальном объекте: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные, кроме того, необходимо имитировать поведение системы во времени.

Большинство имитационных моделей, разработанных для сельскохозяйственных целей, представляют собой алгоритмы, основанные на математических формулах. Моделирование систем земледелия может предсказывать (количественно) переменные, которые полезны для управления растениеводством в зависимости от других переменных, которые легче измерить. Математические модели способны моделировать потребности культур в питательных веществах и воде, и в итоге могут использоваться для управления количеством и сроками подачи питательных веществ в

системах фертигации при выращивании с.-х. культур. Математические модели питания растений применяли на разных микро- и макроуровнях, от клеточного масштаба до всей культуры и для разных целей. Например, математические модели были разработаны для имитации антагонизма между питательными и непитательными ионами на корневом уровне, поглощения питательных веществ на уровне всего растения или влияния непитательных ионов на рост растений и урожайность [7–9]. Моделирование питания растений может быть выполнено с помощью статических или динамических моделей во времени. Статические модели основаны на фиксированных переменных, заранее определенных на основе усредненных значений, таких как ожидаемая урожайность и многолетние климатические данные. Динамические модели связаны с изменениями климата в реальном времени или прогнозируемыми климатическими данными.

Однако поглощение питательных веществ растениями – не единственная переменная, которую следует учитывать при оценке потребности растений в удобрениях. В условиях вегетации внесение удобрений и поглощение на уровне культуры бывает неэффективным, в основном из-за применения несовершенных агротехнических методов и воздействия факторов окружающей среды. Внесение удобрений – не единственный источник питательных веществ для системы земледелия. Для оценки баланса питательных веществ в корневой зоне предложено множество моделей, учитывающих минерализацию питательных веществ из органических материалов и потери питательных веществ из-за иммобилизации, фиксации, улетучивания и выщелачивания ионов питательных веществ.

СППР на основе симуляторов. В зависимости от системы выращивания и сложности моделирования можно собрать несколько моделей и интегрировать их в более сложные инструменты моделирования, которые затем смогут описывать различные процессы, связанные с внесением удобрений. Эти инструменты известны как системы поддержки принятия решений, так как они могут давать рекомендации по количеству удобрений, которые должны быть внесены под культуру, принимая во внимание взаимодействие между практикой внесения удобрений и

многими другими переменными, помимо потребления питательных веществ растениями.

В последние годы СППР для с.-х. целей быстро получили более широкое распространение из-за увеличения мобильности и доступности подключаемых устройств к интернету. СППР могут быть автономными или веб-программами (сервисами). Программное обеспечение, например, рекомендует внесение азотного удобрения, основываясь на поддержании концентрации минерального азота в корневой зоне, близкой к минимальному оптимальному порогу почвы. При этом снижается потребление азотных удобрений до 30% по сравнению с планом внесения удобрений от производителя.

Количество параметров и их сложность могут быть узким местом с точки зрения их применения: обычно более сложные модели наиболее точные и более гибкие в адаптации к различным сценариям, но они также требуют гораздо больше усилий для калибровки и/или использования в различных системах выращивания. Однако моделирование представляет собой единственную или, по крайней мере, одну из наиболее ценных стратегий для оценки переменных, которые трудно измерить напрямую; моделирования сценариев для принятия решений заранее; моделирования поведения на большой обрабатываемой площади, а также для обучения и образовательных программ.

Несомненно, СППР на основе моделирования может быть полезным инструментом для поддержки управления фертигацией и принятия решений при выращивании овощных культур.

Методы корректирующего управления фертигацией

Мониторинг (диагностика) растений. Мониторинг урожая с помощью различных аналитических подходов можно использовать для оценки состояния питания растений и в итоге для корректировки внесения питательных веществ с точки зрения как количества, так и типа питательных веществ. Подход, известный как «диагностика питания растений», основан на том принципе, что контроль условий выращивания должен основываться на физиологическом статусе растения. Для достижения вышеуказанной цели в полевых условиях можно проводить как прямые, так и косвенные измерения содержания питательных веществ в тканях растений.

Основные характеристики надежного метода «диагностика питания растений» – простота и быстрота измерения, которые позволяют провести достаточное количество замеров для получения данных, репрезентативных для с.-х. культуры. Первым разработанным методом диагностики, который до сих пор наиболее распространен, был анализ сока черешка.

Анализ сока, извлеченного из черешка листа, использовался во многих исследованиях для мониторинга и оптимизации питания растений. Значительная корреляция между концентрацией NO_3^- и К в соке черешка и содержанием N или К в тканях растений наблюдалась для многих овощных культур [10]. Оптимальные значения концентрации питательных веществ в соке черешков листьев изменяются в зависимости от стадии вегетации растения (значения достаточности снижаются с возрастом), метода выращивания, вида и сорта культуры, а также доступности питательных веществ и воды для растений. Знание ориентировочных значений имеет решающее значение для успешного применения метода, и это остается основным ограничением для его практического применения.

Одна из наиболее перспективных технологий мониторинга растений – использование оптических датчиков, которые в настоящее время быстро развиваются. С помощью них можно измерять флуоресценцию, коэффициент отражения и пропускание хлорофилла в тканях (листья), таким образом получая условные индексы (вегетации, урожайности, соотношения и т.п.), зная которые, можно вычислять их корреляцию со стрессом растения и состоянием питательных веществ.

Оптические измерительные устройства можно условно разделить на те, которые способны измерять органы растения или отдельные листья, а также получать данные с больших поверхностей, например частей кроны или участков посевов (полей), которые можно установить на тракторах, дронах, роботах или даже на самолетах или спутниках.

Типы датчиков имеют две основные категории: те, которые измеряют отражательную способность растительного покрова с помощью мультиспектрального датчика, зависящего от пассивного солнечного света, такие как CropScan® (Cropscan, Рочестер, Северная Каролина, США) и FieldSpec® (ASD). PANalytical,

Боулдер, Колорадо, США); те, которые измеряют отражательную способность, создавая источник света сами, тем самым обеспечивая более точное измерение независимо от окружающего света, такие как N Sensor™ (Yara, Grimsby, UK), Crop Circle® (Holland Scientific, Линкольн, Нидерланды) и GreenSeeker® (Trimble, Саннивейл, Калифорния, США). Большинство исследований по измерителям отражения проводилось на зерновых культурах, хотя некоторые исследования доступны и для овощных культур [11].

Измерения отражательной способности растительного покрова основаны на взаимосвязи между длинами волн видимого и ближнего инфракрасного (БИК) спектра и состоянием растительного покрова. Значение коэффициента отражения для конкретных длин волн можно использовать при расчете различных индексов. Для интерпретации собранных данных можно сравнивать показатели, относящиеся к здоровым и подверженным стрессу культурам.

Многообещающий инструмент – Dualex Scientific+® (FORCE-A, Париж, Франция). Dualex® может предоставить четыре различных показателя, связанных с концентрацией хлорофилла, флавонолов, антоцианов и азота, полученных с помощью индекса баланса азота (NBI®). Его можно использовать для оценки состояния питания культуры и наличия стресса. Система Dualex® успешно использовалась для удобрения азотом озимых овощных культур в открытом грунте. Отмечена высокая корреляция между показателями, полученными с помощью Dualex®, SPAD, и концентрацией нитратов в черешках листьев.

Метод диагностики питания растений, улучшающий управление внесением удобрений, в основном применяется в экстенсивных системах земледелия, где циклы выращивания относительно длинные, и у производителей есть достаточно времени, чтобы при необходимости скорректировать нормы внесения минеральных удобрений. Однако этот подход трудно применить к овощным культурам, характеризующимся коротким циклом выращивания (20–40 дней), таким как салатные листовые и редечные культуры.

Мониторинг корневой зоны (почвенная диагностика). Анализ почвы для контроля наличия питательных веществ в корневой зоне – ценная альтернатива мониторингу растений. Фертигацию можно регулиро-

вать в зависимости от целевой (т. е. оптимальной) концентрации или количества удобрения в объеме почвы, которое необходимо поддерживать в корневой зоне для достижения оптимальной урожайности и качества продукции. Следуя этому подходу, доступность питательных веществ в корневой зоне можно оценить с помощью различных методов мониторинга: лабораторный анализ, при котором питательные вещества извлекаются растворами, содержащими, например, хлорид бария, ацетат аммония и хлорид кальция; анализ водного экстракта почвы или субстрата (например, 1:2 V:V почва/вода; и анализ водного раствора почвы, извлеченного из корневой зоны с помощью аспирационных лизиметров.

Подробные лабораторные анализы образцов почвы более полезны для внесения удобрений перед посевом/посадкой и для оценки доступности питательных веществ в среднесрочный период, тогда как для быстрой корректировки фертигации в течение фазы вегетации использование водных экстрактов представляется более эффективным.

На рынке представлено несколько систем быстрого химического анализа, которые можно использовать для контроля концентрации питательных веществ в водных экстрактах, но наиболее эффективные из них основаны на использовании фотометрии с видимым светом и ионспецифических датчиков, таких как ионоселективные оптоды (ISO), ионоселективные электроды (ISE) и ионоселективные полевые транзисторы (ISFE). Доступно множество простых и портативных фотометров (например, RQ Reflectoquant Flex™, Merck KGaA, Дармштадт, Германия) и несколько экспресс-наборов, основанных на цветных реакциях.

Несомненно, ион-специфические датчики, основанные на оптических (ISO) или электрохимических (ISE или ISFET) реакциях, особенно подходят для фертигации беспочвенных культур, где можно легко собрать питательный раствор. Коммерческие примеры портативных датчиков специфических ионов – CardyNO3 Meter™ (Horiba Ltd., Киото, Япония) для определения NO₃ и Nutrient Analyzer™ (Clean-grow, Wolverhampton, United Kingdom) для определения N-NO₃, N-NH₄, Ca, Mg, K, Cl, Na, pH и EC.

СППР на основе мониторинга урожая (прогнозирование урожайности). Несмотря на обширную ис-

следовательскую деятельность, проведенную в последнее время по мониторингу растений для оценки состояния питания овощных культур, на основе этого подхода было разработано очень мало прикладных протоколов. Высокая изменчивость концентрации питательных веществ в тканях растений в течение вегетации и необходимость знания их соответствующих критических порогов, которые могут меняться в зависимости от культивируемых видов, возраста растений/органов, системы выращивания и почвенно-климатических условий, могут ограничивать применение этого подхода в широком диапазоне условий. В этом заключается важный аспект при использовании технологий в практической деятельности.

По вышеуказанным причинам большинство СППР базируются на корректирующих подходах на основе мониторинга почвы или смешанном методе мониторинга почвы/растений. СППР прогнозирует общее количество азота, которое необходимо внести в зависимости от ожидаемой урожайности и показателей анализа почвы. При этом 70% его количества вводится при посадке, а остальные 30% – при необходимости после оценки состояния растений с помощью экспресс-анализа тканей растений (например, с помощью хлорофиллометров). Метод KNS (Kulturbegleitende Non-Sollwerte) был предложен для овощных культур в Германии. С его помощью вычисляют баланс азота на основе предположения, что в корневой зоне должен поддерживаться минимальный запас питательных веществ для обеспечения высокого урожая и качества. KNS протестирован на 21 различной овощной культуре со средним снижением азота на 57% по сравнению со стандартной практикой производителей [12]. Обновленная версия KNS – N-Expert DSS. Тем не менее наиболее популярный подход, основанный на тестировании почвы, – «Модель фертигации», первоначально разработанная нидерландскими исследователями, а затем распространенная по всей Европе. Этот метод широко используют на коммерческом уровне в Нидерландах, Италии и Греции, его можно применять с помощью удобной программы GreenFert.

Фертигация, применяемая в системах микроорошения, – одна из наиболее экономичных стратегий повышения эффективности использования питательных веществ в с.-х.

производстве. Возможность подачи питательных веществ с низкой скоростью и высокой частотой улучшает доступность питательных веществ в корневой зоне и их усвоение растениями, а также снижает риск потери питательных веществ. Все вышеперечисленные аспекты положительно влияют на экономическую и экологическую устойчивость с.-х. деятельности.

При соблюдении оптимальных методов управления фертигацией гарантированно можно добиться вы-

сокой урожайности и качества овощной продукции. Научно обоснованную норму внесения удобрений необходимо рассчитывать на основе объективных методов, учитывающих все переменные с.-х. системы, которые могут взаимодействовать с процессом внесения удобрений. Для подтверждения теории необходимы точные измерения.

Для достижения вышеуказанных целей уже разработано множество инструментов, устройств и программ, и скоро будут доступны дру-

гие многообещающие инструменты и методы для управления фертигацией овощных культур. Среди всех рассмотренных методов, СППР, основанные на имитационных моделях и подходах к тестированию почвы, наиболее распространены, но оптические датчики обладают большим потенциалом для интеграции в существующие инструменты и новые экспресс-методы для точного контроля и управления фертигацией в системах современного интенсивного земледелия.

Библиографический список

References

1. Фертигация томатов в открытом грунте УНПЦ «Горная поляна» Волгоградского ГАУ / А.И. Беленков, Ю.Н. Плескачев, В.И. Филин, Е.Д. Абрашкина // Картофель и овощи. 2020. №8. С. 15–18. DOI: 10.25630/PAV.2020.18.87.00.
2. Борисов В.А., Васючков И.Ю., Успенская О.Н. Комплексная оценка различных систем удобрения в экологическом овощеводстве открытого грунта // Агрохимия. 2022. №1. С. 32–38.
3. Инновационные технологии орошения овощных культур / А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, М.И. Иванова, А.А. Рубцов. М.: Изд-во Ким Л.А., 2021. 306 с.
4. Фертигация томата в открытом грунте / О.Г. Чамурлиев, А.Н. Сидоров, А.А. Холод, Г.О. Чамурлиев, Н.В. Богомолова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. №4. С. 347–361.
5. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops / D. Abalos, L. Sanchez-Martin, L. Garcia-Torres, J.W. van Groenigen, A. Vallejo // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 490. Pp. 880–888.
6. High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply / M. Farneselli, P. Benincasa, G. Tosti, E. Simonne, M. Guiducci, F. Tei // Agric. Water Manag. 2015. №154. Pp. 52–58.
7. Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture / D. Massa, L. Incrocci, R. Maggini, C. Bibbiani, G. Carmassi, F. Malorgio, A. Pardossi. Environ // Model. Softw. 2011. Vol. 26. Pp. 711–722.
8. Modeling plant nutrient uptake: Mathematical analysis and optimal control / L. Louison, A. Omrane, H. Ozier-Lafontaine, D. Picart // Lect. Notes Pure Appl. 2015. Vol. 4. Pp. 193–203.
9. Modelling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions / L. Karlberg, A. Ben-Gal, P.E. Jansson, U. Shani // Ecol. Model. 2006. Vol. 190. Pp. 15–40.
10. Assessing crop N status of fertigated vegetable crops using plant and soil monitoring techniques / M.T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, R.B. Thompson, M. Farneselli, F.M. Padilla // Ann. Appl. Biol. 2015. Vol. 167. Pp. 387–405.
11. Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato / F.M. Padilla, M.T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, R.B. Thompson // Ann. Appl. Biol. 2015. Vol. 166. Pp. 271–285.
12. Ziegler J., Strohmeier K., Brand T. Nitrogen supply of vegetables based on the «KNS-system» // Acta Hortic. 1996. Vol. 428. Pp. 223–233.

1. Fertigation of tomatoes in the open ground of the ERPC «Gornaya polyana» of the Volgograd SAU. A.I. Belenkov, Yu.N. Pleskachev, V.I. Filin, E.D. Abrashkina. Potato and vegetables. 2020. No8. Pp. 15–18 (In Russ.). DOI: 10.25630/PAV.2020.18.87.00.
2. Borisov V.A., Vasyuchkov I.Yu., Uspenskaya O.N. Complex assessment of various fertilizer systems in ecological vegetable growing of open ground. Agrochemistry. 2022. No1. Pp. 32–38 (In Russ.).
3. Innovative technologies of irrigation of vegetable crops. A.Yu. Fedosov, A.M. Men'shikh, M.I. Ivanova, A.A. Rubtsov. Moscow. Izd-vo Kim L.A. 2021. 306 p. (In Russ.).
4. Fertigation of tomatoes in the open ground. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry. O.G. Chamurliiev, A.N. Sidorov, A.A. Kholod, G.O. Chamurliiev, N.V. Bogomolova. 2019. Vol. 14. No4. Pp. 347–361 (In Russ.).
5. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. D. Abalos, L. Sanchez-Martin, L. Garcia-Torres, J.W. van Groenigen, A. Vallejo. Sci. Total Environ. 2014. Vol. 490. Pp. 880–888.
6. High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. M. Farneselli, P. Benincasa, G. Tosti, E. Simonne, M. Guiducci, F. Tei. Agric. Water Manag. 2015. No154. Pp. 52–58.
7. Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture. D. Massa, L. Incrocci, R. Maggini, C. Bibbiani, G. Carmassi, F. Malorgio, A. Pardossi. Environ. Model. Softw. 2011. Vol. 26. Pp. 711–722.
8. Modeling plant nutrient uptake: Mathematical analysis and optimal control. L. Louison, A. Omrane, H. Ozier-Lafontaine, D. Picart. Lect. Notes Pure Appl. 2015. Vol. 4. Pp. 193–203.
9. Modelling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions. L. Karlberg, A. Ben-Gal, P.E. Jansson, U. Shani. Ecol. Model. 2006. Vol. 190. Pp. 15–40.
10. Assessing crop N status of fertigated vegetable crops using plant and soil monitoring techniques. M.T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, R.B. Thompson, M. Farneselli, F.M. Padilla. Ann. Appl. Biol. 2015. Vol. 167. Pp. 387–405.
11. Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. F.M. Padilla, M.T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, R.B. Thompson. Ann. Appl. Biol. 2015. Vol. 166. Pp. 271–285.
12. Ziegler J., Strohmeier K., Brand T. Nitrogen supply of vegetables based on the «KNS-system». Acta Hortic. 1996. Vol. 428. Pp. 223–233.

Об авторах

Author details

Федосов Александр Юрьевич, м.н.с. отдела технологий и инноваций, ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО. E-mail: fffed@rambler.ru
 Меньших Александр Михайлович, канд. с.-х. наук, в.н.с. отдела технологий и инноваций, ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО. E-mail: soulsunnet@gmail.com
 Вячеслав Семенович Соснов, с.н.с., БОСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО. E-mail: gnubosos@mail.ru

Fedosov A.Yu., junior research fellow, Department of Technology and Innovation, All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal Research Center of Vegetable Growing (ARRIVG – branch of FSBSI FSVC). E-mail: fffed@rambler.ru
 Menshikh A.M., Cand. Sci. (Agr.), leading research fellow of Department of Technology and Innovation, ARRIVG – branch of FSBSI FSVC. E-mail: admin@vniioh.ru
 Sosnov V.S., senior research fellow of Birutchevsky Vegetable Experimental Station – branch of FSBSI FSVC. E-mail: gnubosos@mail.ru