

ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ В ОВОЩЕВОДСТВЕ

А. В. Янченко, А. Ю. Федосов, А. М. Меньших

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»
140153, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500
E-mail: laboratoria2008@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.10.2022, принята к печати 31.05.2023

Почти 40% мировых запасов продовольствия производится за счет орошения. Прогнозируется, что к 2080 г. чистые потребности сельскохозяйственных культур в воде во всем мире увеличатся на 25%, несмотря на повышение эффективности орошения, связанное с изменениями в структуре осадков, глобальным потеплением и удлинением вегетационного периода культивируемых растений. Овощи на 80–95% состоят из воды. Потребности овощных культур в воде относительно высоки, особенно в засушливых и полузасушливых районах – из-за высокой радиационной нагрузки, наблюдаемой в течение года, но также и в более умеренных и субтропических зонах, где часто возникают засухи и тепловые волны. Урожайность и качество овощной продукции часто страдают из-за засухи. Внедрение водосберегающих методов управления орошением овощных культур может значительно повысить урожайность и качество овощной продукции. Гидрогель (суперабсорбирующий полимер) представляет собой водоудерживающий биоразлагаемый аморфный полимер, который может поглощать и удерживать воду в количестве, по крайней мере, в 400 раз превышающем его первоначальный вес, и делает не менее 95% накопленной воды доступной для поглощения растениями. В результате смешивания с почвой гидрогель образует аморфную желеобразную массу при гидратации и способен удерживать ее в течение более длительного периода в почве, а также медленно выделять воду в соответствии с потребностью в ней корней растений. Применение гидрогеля в агротехнологиях будет эффективным способом увеличения урожайности овощных культур в условиях водного дефицита.

Ключевые слова: овощные культуры, полимерные гели, влагообеспеченность, урожайность.

POLYMER GELS IN VEGETABLES

A. V. Yanchenko, A. Yu. Fedosov, A. M. Men'shikh

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Center for Vegetable Growing»,
E-mail: laboratoria2008@yandex.ru

Nearly 40% of the world's food supply comes from irrigation. By 2080, net crop water requirements are projected to increase by 25% worldwide, despite improvements in irrigation efficiency associated with changes in rainfall patterns, global warming and longer growing seasons for cultivated plants. Vegetables are 80–95% water. The water requirements of vegetable crops are relatively high, especially in arid and semi-arid areas due to the high radiation load observed throughout the year, but also in more temperate and subtropical zones as periodic drought events and heatwaves often occur. The yield and quality of vegetable products are often affected by drought. The introduction of water-saving irrigation management methods for vegetable crops can significantly increase yields and quality of vegetable products. Hydrogel (Super Absorbent Polymer) is a water-retaining, biodegradable amorphous polymer that can absorb and retain at least 400 times its original weight of water and at least 95% of the stored water is available for plant uptake. Being mixed with soil, it forms an amorphous jelly-like mass when hydrated, and is able to retain water in the soil for a longer period slowly releasing it according to the needs of plants. The use of hydrogels in agricultural technologies can be a fruitful option for increasing vegetable crop yields in conditions of water deficiency.

Keywords: vegetable crops, polymer gels, moisture supply, productivity.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация использования водных ресурсов имеет стратегическое значение для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности отрасли овощеводства в мире. Управление водными ресурсами считается одной из основных проблем ближайшего будущего. Фактически ожидается, что к 2030 году спрос на воду будет на 50% выше, чем на сегодняшний день, а водозабор может превысить естественное возобновление более чем на 60%, что приведет к нехватке воды (Sagu et al., 2013). Недостаток воды для

орошения является одним из основных ограничивающих факторов, влияющих на рост и развитие растений, урожайность и качество овощной продукции. Продуктивность овощных культур также часто ограничивается неблагоприятными физическими и химическими свойствами почвы, такими как низкая скорость инфильтрации, влагоудерживающая способность и емкость катионного обмена. В частности, способность песчаных и водопроницаемых почв удерживать воду и питательные вещества крайне ограничена. Указанные

почвы характеризуются чрезмерным отводом дождевой и оросительной воды, а также вымыванием питательных веществ ниже корневой зоны (Околелова и др., 2016), что приводит к неэффективному использованию воды и удобрений овощными культурами (Федосов и др., 2021). Ситуация особенно усугубляется для культур с мелкой корневой системой или при отсутствии поливной воды или ирригационных систем.

Цель работы – дать обзор применения полимерных гелей для управления влагообеспеченностью и продуктивностью овощных культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведен обзор литературы и современной научной информации о внедрении полимерных гелей в агротехнологии овощных культур, сфокусированный на наиболее характерных фактах, как вклад в растущий объем работ по инновационным технологиям в традициях медиаисследований. В обзоре использовались различные базы данных, такие как Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ и др., онлайн-источники (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library и др.), а также результаты исследований, проведенных во ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрогель представляет собой сеть сшитых гидрофильных полимерных цепей. Существуют различные группы полимеров: привитые полимеры крахмал-полиакрилонитрил (сополимеры крахмала), сополимеры винилового спирта и акриловой кислоты (поливиниловые спирты), сополимеры акриламида и акрилата натрия – сшитые полиакриламиды.

Сверхвысокопоглощающие материалы могут впитывать деионизированную воду до 1000-100000%, тогда как абсорбционная способность обычных гидрогелей не превышает 100%. Исследования показывают, что в случае, когда в почву вносятся супервпитывающие полимеры (SAP), объемное содержание воды в ней значительно увеличивается, и по мере ее высыхания накопленная вода медленно сбрасывается обратно в почву. Кроме того, фертигация также может осуществляться путем внесения SAP в почву, поскольку они способны поглощать удобрения и выделять их с водой (Rajiv et al., 2014).

Суперабсорбирующие полимеры улучшают некоторые физические свойства почвы. Полимерный гидрогелевый состав эффективен для использования в качестве кондиционера почвы, а также для повышения устойчивости сельскохозяйственных культур и увеличения их роста на песчаном или легком гравийном субстрате. Гидрогелевый полимер показал себя эффективным в качестве кондиционера почвы для уменьшения потерь влаги и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур (Dehkordi, 2017; Ovalesha et al., 2017).

Применение полимерных гелей в сельском хозяйстве способствует предотвращению гравитационных потерь влаги и уменьшению ее испарения в почве, коррекции агрофизических свойств грунта, а также улучшению роста и развития многих видов сельскохозяйственных растений.

Эффективное использование оросительной воды в комплексе с удобрениями и технологией возделывания способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур (Sivapalan, 2006; El-Sayed et al., 2002). Когда полимеры смешиваются с почвой, предполагается, что они удерживают большое количество воды и питательных веществ, которые высвобождаются в соответствии с потребностями растения. Таким образом, рост растений возможно улучшить при ограниченном водоснабжении (Islam et al., 2011).

Добавление полимера в торф снижает водный стресс и увеличивает время увядания растений без полива. Внесение SAP в почву улучшает ее физические свойства, увеличивает рост сельскохозяйственных культур и их урожайность (Yazdani et al., 2007), а также снижает потребность растений в орошении (Blodgett et al., 1993). Использование гидрофильных полимерных материалов в качестве регулятора удержания и высвобождения питательных веществ помогает снизить нежелательные потери удобрений в результате вымывания, поддерживая при этом энергичный рост растений. Внесение SAP в почву также позволяет удерживать значительное количество атмосферной воды и при необходимости постепенно отдавать ее корням растений, снижая влияние засухи и недостатка влаги. Таким образом, внедрение SAP в овощеводство может представлять собой многообещающее решение для рационализации использования водных ресурсов, особенно в пустынных районах (Giuseppe et al., 2014).

Механизм действия полимерного гидрогеля

Полимерный гидрогель при реакции с водой образует ассоциативную аморфную желатиноподобную массу. Поглощение влаги и ее отдача происходят в течение длительного времени. При этом через определенные промежутки времени гидрогель в почве создает свободный объем пор, обеспечивая дополнительное пространство для инфильтрации воздуха и воды, а также роста корней. SAP обеспечивает медленное высвобождение воды и растворенных удобрений в почве. Сохранение воды с помощью SAP приводит к созданию буферной среды на фазе всходов растений, что весьма эффективно при краткосрочной засухе.

В исследованиях ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО установлено, что в вариантах с поверхностным внесением суперабсорбента (полиакриламид) в количестве 1,75 кг га⁻¹ образование почвенной корки на аллювиальных среднесуглинистых почвах не наблюдается (рис. 1).



Рис. 1. Поверхность почвы на гребне в период образования почвенной корки на посевах свеклы столовой: без внесения суперабсорбента (слева); с внесением суперабсорбента перед посевом и заделкой на глубину 0-5 см (справа) (Янченко и др., 2023)

Способность SAP к поглощению воды и ее постепенной отдаче обеспечивает создание благоприятных условий для роста и развития растений: после смешивания полимеров с почвой они сохраняют значительное количество воды. Масса воды, которую могут кратковременно удерживать SAP, превышает в 100 раз их первоначальный вес, что приводит к снижению потерь воды до 95%. Сохраненная влага усваивается растениями (Johnson, 1984) в соответствии с их потребностями за счет ее постепенной отдачи, поэтому рост и развитие растений усиливаются даже при ограниченном водоснабжении. В регионах с достаточным количеством осадков добавление SAP в почву обеспечивает нормальную скорость инфильтрации почвы.

Полимеры, как правило, представляют собой высокомолекулярные материалы, которые можно синтезировать из множества мономеров. Получаемые материалы могут быть либо гидрофильными, либо гидрофобными.

Для овощеводства идеально подходят только полимеры гидрофильного типа. Химический состав гидрофильных полимеров включает: сшитый акриламид, полиакрилаты натрия, набухающий крахмал, сшитый акриламид (полиакрилаты калия), крахмал (сополимеры акрилата), акрилонитрил.

Поперечное сшивание в полимерах способствует увеличению запасов воды, доступной для растений, в дополнение к действию физического барьера на пути оттока воды из геля (Johnson, Veltkamp, 1985). Такие типы полимеров различаются в зависимости от общего количества воды, абсорбируемой на один грамм материала, размера и распределения частиц, реакции на концентрацию солей и стоимости. Полимеры могут абсорбировать чрезвычайно большие объемы дистиллированной воды в полевых условиях, в результате гидратации их масса редко увеличивается более чем в 400 раз из-за уровня солености воды. По мере увеличения концентрации ионов в воде степень гидратации полимера уменьшается (Evans et al., 1990). Размер частиц варьируется от 5 до 2 мм для разных полимеров.

Большинство полимеров, предназначенных для овощеводства, производятся в соответствии со следующими критериями: увеличение водоудерживающей способности почвы, размера и количества пор в почве, выживаемости растений,

скорости прорастания семян, а также снижение влияния уплотнения почвы на рост растений. Кроме того, некоторые производители заменили натрий калием для снижения токсичности продуктов для растений. Полимеры, внесенные в почву, теряют от 10 до 15% своей активности каждый год (Nirmala, Thirupathaiah, 2019). Дegradaция полимера, по-видимому, связана с микробиологической активностью корнеобитаемой среды, изменением физической структуры с течением времени и химическим разложением. При орошении использование гидрогеля увеличивает интервалы полива (Allahdady, 2002). Увеличение интервалов зависит от физического состояния почвы, климата региона и коэффициента использования суперабсорбента в почве. Через 4–7 лет (в зависимости от типа и состава почвы) полимерные гидрогели разрушаются микроорганизмами, не вызывая загрязнения окружающей среды. Помимо удержания воды, суперабсорбенты за счет непрерывного изменения объема (расширение при набухании и сжатие при потере воды) способствуют увеличению количества воздуха в почве (Kabiri, 2005).

Для применения в овощеводстве гидрогель должен иметь следующие характеристики: высокая абсорбционная способность по отношению к соленой и жесткой воде, оптимизированная впитывающая способность под нагрузкой (AUL), низкое содержание растворимого и остаточного мономера, низкая цена, высокая прочность и стабильность при набухании и хранении, постепенная биоразлагаемость без образования токсичных веществ, pH-нейтральный характер после набухания в воде, фотостабильность, возможность повторного смачивания.

Отличительными особенностями гидрогеля являются следующие: максимальная впитывающая способность при температуре 40-50°C, характерной для полусухих и сухих почв; поглощение воды в количестве, в 400 раз превышающем сухую массу применяемого SAP, и ее постепенное высвобождение; стабильность в почве в течение как минимум одного года; низкая подверженность воздействию солей; низкие нормы внесения в почву (1–2 кг га⁻¹ для саженцев садовых культур и 2,5-5,0 кг га⁻¹ для полевых культур); способность снижать вымывание гербицидов и удобрений, улучшать физические свойства почв и почвенных сред,

создавать оптимальные условия для получения всходов, улучшать формирование корневой системы. Гидрогель помогает растениям выдерживать длительный стресс, вызванный недостатком влаги, снижает потребность овощных культур в орошении и фертигации, а также уменьшает число фертигационных шанг (Choudhary et al., 2014).

Аспекты экологической безопасности, связанные с гидрогелем

Основная проблема применения гидрогелей – внутренняя токсичность непрореагировавшего мономера акриламида, акриловой кислоты, акрилата и др. компонентов, присутствующих в готовой продукции. Для оценки остаточного содержания мономера в гидрогелях применяется такой метод, как ВЭЖХ. Материалы из сверхвпитывающих полимеров (SAP) не могут вернуться в исходное состояние – мономеры, т.е. они необратимы, с научной точки зрения, для токсичных исходных материалов. Гидрогель умеренно подвержен биоразложению в почве с образованием аммиака и диоксида углерода. В результате исследований выявлено незначительное или нулевое постоянное неблагоприятное воздействие гидрогеля на почвенную микробиоту.

Применение гидрогеля в овощеводстве

Полимеры гидрогеля играют важную роль в овощеводстве в качестве конструкционных материалов для создания благоприятных для роста растений условий в засушливых и полувасушливых регионах. Гидрогель можно использовать в качестве удерживающих ингредиентов в следующих формах и целях: добавки к семенам для поддержки их прорастания или покрытия семян; обмакивание корней рассады перед укоренением; иммобилизация веществ, способствующих росту растений; защитные агенты для покрытия (пестициды) с медленным высвобождением; полимерные биоциды и гербициды; нерастворимые в воде полимеры; полимеры для рекультивации почв (Waleed Abobatta, 2018).

Увеличение водоудерживающей способности почв при добавлении полимеров зависит от типа почвы и содержания в ней органического вещества. Использование гидрогеля сокращает расход поливной

воды (на 30-50%) и количество внесенных удобрений. Применение полиакриламида в количестве 6,8 кг га⁻¹ способствовало сокращению периода созревания, повышению урожайности на 30 % и увеличению содержания растворимых сухих веществ в плодах томата (Pvor, 1988).

Для стимулирования прорастания семян овощных культур основным фактором является наличие воды. Качественный посадочный материал гарантирует начальный быстрый рост рассады. Контейнеры, используемые для выращивания рассады, содержат небольшой объем субстрата, что ограничивает доступность воды для растений, нуждающихся в частом поливе (Cruz et al., 2008). Добавление гидрогеля в почву или субстрат способствует прорастанию семян, развитию корней, росту растений, улучшению аэрации и дренажа почвы, а также сводит к минимуму потери питательных веществ при выщелачивании (Azevedo et al., 2002).

Рекомендации, основанные на исследованиях, свидетельствуют о том, что внесение сухих полимеров как в рассыпку, так и непосредственно в ряды приводит к значительному снижению расхода воды для орошения и повышению урожайности по сравнению с культурами, выращиваемыми без внесения полимеров в почву. Разница между двумя способами внесения заключается в стоимости и общем количестве применяемого полимера. Существуют рекомендации по сплошному внесению полимеров в дозах от 170 до 905 кг га⁻¹ с заделкой на глубину от 15 до 20 см. Для внесения полимера ленточным способом в борозду требуется всего 17 кг га⁻¹ при максимальной дозе внесения 45 кг га⁻¹. Первоначальные исследования внесения полимера полосами в борозду также показали, что общие потребности конкретной культуры в удерживаемой влаге могут быть снижены, поскольку полимер увеличивает запасы влаги и питательных веществ в почве в ряду произрастания основной культуры, что повышает эффективность применения полимеров (Orzolek, 1991).

Нормы внесения гидрогеля представлены в табл. 1.

Таблица 1. Нормы внесения гидрогеля в почву.

Тип почвы	Рекомендуемые нормы внесения гидрогеля
Засушливые и полувасушливые регионы	4-6 г кг ⁻¹ почвы
Для всех уровней борьбы с водным стрессом и увеличения интервала орошения	2,25-3 г кг ⁻¹ почвы
Для задержки наступления точки постоянного увядания на песчаных почвах	0,2-0,4 г кг ⁻¹ или 0,8 % почвы, в зависимости от того, что больше
Для снижения количества поливной воды на 50 % на суглинистых почвах	2-4 г в ямку
Для повышения относительного содержания воды и эффективности использования воды листьями	0,5-2,0 г на горшок
Для снижения уровня стресса растений в результате засухи	0,2-0,4 % почвы
Для предотвращения стресса растений в результате засухи	225-300 кг га ⁻¹ посевной площади
Для снижения уровня водного стресса растений	3 % по весу

(<http://vikaspedia.in/agriculture/best-practices/sustainable-agriculture/crop-management/hydrogelagriculture-technology>)

*Эксперименты по применению гидрогеля в
агротехнике различных культур
Редис*

В экспериментах с редисом исследованы различные виды полимеров (Nnadi, Brave, 2011). Биополимеры могут быть изготовлены из карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), которая имеет полисахаридную целлюлозную основу природного происхождения. КМЦ производится в промышленных масштабах путем реакции хлоруксусной кислоты с натриевой целлюлозой в суспензии с изопропанолом и водой. Полимерные комплексы КМЦ были сшиты ионами алюминия с образованием непостоянных связей при набухании комплекса в воде. Использовался модифицированный порошок крахмала маниоки (Ayoola Foods), модифицированный порошок кукурузного крахмала (Pinnacle Foods), модифицированный порошок картофельного крахмала (Bob's Red Mill) и модифицированный порошок крахмала ямса (Ayoola Foods). Натриевая соль КМЦ (Acros Organics) использовалась с крахмалом для синтеза суперабсорбирующих полимеров. Октадекагидрат сульфата алюминия использовался для сшивания полимерного комплекса. Почва с модифицированным гидрогелем картофельного крахмала имела лучшие характеристики при концентрации 0,12%. Полученные результаты также позволяют предположить, что улучшение почвы посредством суперабсорбирующего полимера, состоящего из КМЦ и крахмала, может быть альтернативой применению суперабсорбирующих полимеров на нефтяной основе для удержания воды в почве.

Изучено влияние полиакриламидного гидрогеля «Акрилекс П-150» на всхожесть семян редиса на различных типах почв (светло-каштановая, солонец, солончак). Наибольшая эффективность применения гидрогеля отмечена на солонце. Фитопродуктивность на светло-каштановой почве и солончаке при использовании гидрогеля составила 17 и 16% соответственно, на солонце – 100% (Воскобойникова и др., 2015).

Морковь столовая

При внесении гидрогеля взброс перед нарезкой гребней и одновременно с посевом полевая всхожесть семян увеличивалась соответственно на 4 и 11%. При этом гидрогель, внесенный в дозе 260 кг га⁻¹, не оказал существенного влияния на продуктивность, а при его внесении в ряд с семенами урожайность (47,1 т га⁻¹) была меньше, чем в контроле (50,6 т га⁻¹). Внесение полиакриламида в ряд в дозе 170 кг га⁻¹ при посеве способствовало повышению полевой всхожести семян на 33%, густоты стояния растений – на 24%, урожайности – на 32%, выхода товарных корнеплодов – на 12% по сравнению с контрольным вариантом (Азопков, 2012).

Свекла столовая

На аллювиальных луговых среднесуглинистых почвах полимерные гидрогели на основе полиакриламида рекомендовано использовать в дозе 1,75 кг га⁻¹, внося их в основание гребня на глубину 10–15 см для улучшения водно-воздушного режима почв, препятствия образованию на поверхности корки,

получения дружных всходов и увеличения выхода стандартной продукции (Гуменный, 2012).

Перец сладкий

Mohammad и Fardin (2011) провели эксперимент на перце сладком, в процессе которого изучались пять уровней SAP A200 (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5%) и четыре интервала полива (5, 7, 9, 11 дней) в теплице. Самая высокая продуктивность (352 г) и наибольшее общее число плодов на растении (13 шт.) были отмечены при поливном интервале каждые 5 дней и внесении 0,5% SAP.

Установлено влияние гидрогелей на содержание отдельных свободных аминокислот. Наибольшее значение концентрации пролина (32 мкг г⁻¹ сырой массы) отмечено при применении композиции без SAP (контроль), а наименьшее – в варианте с интервалом орошения каждые пять дней и применением 0,5% SAP.

Томат

Meena с соавт. (2011) провели полевой эксперимент по изучению влияния гидрофильного полимера на потребность в орошении и биофизические параметры томата. Эксперимент предполагал использование гидрофильного вещества в различных дозах (от 0,50 до 1,75 г на 1 растение). Среди вариантов опыта увеличение урожайности томата отмечено при внесении в почву liquasorb в дозе 1,75 г на 1 растение.

Капуста

Ananda с соавт. (2009) провели полевой эксперимент для изучения влияния SAP на рост, развитие, физиологию и урожайность капусты белокочанной. SAP вносились в почву в различных дозах (0,5, 0,75, 1,0, 1,25, 1,5 и 1,75 г на 1 растение) во время посадки рассады. В результате внесения SAP в почву были достигнуты более высокий урожай, максимальная высота растений, увеличение числа наружных листьев на растении и ускорение формирования кочана по сравнению с контролем. Частота полива фактически снизилась на 33% в сравнении с контролем. Наиболее высокие показатели экономической эффективности применения SAP отмечены в варианте с использованием liquasorb в дозе 1,75 г на 1 растение.

Огурец

Al-Harbi с соавт. (1999) провели эксперимент по изучению влияния гидрофильного полимера (Broadleaf P4®; HP) на рост растений огурца и эффективности поглощения воды HP. Объемная плотность почвы значительно уменьшилась при добавлении HP и увеличилась после проведения пяти экспериментов по выращиванию при каждой дозе внесения HP. После пяти циклов эксперимента объемная плотность почвы снизилась на 17,3% и 27,8% при добавлении HP в дозе 0,1% и 0,4% соответственно. Наибольший вегетативный рост растений (наибольшая площадь листьев, а также свежая и сухая масса побегов) наблюдался при 0,3% HP в первом и втором экспериментах и при 0,4% HP – в третьем и четвертом опытах. В третьем и четвертом экспериментах КПД HP снизился на 14,3% и 21,8% соответственно.

Салат

Nikoorazm с соавт. (2009) оценили влияние применения SAP (Tarawat A 200), режимов орошения

и методов использования полимеров на рост и развитие салата. В исследовании изучены четыре дозы применения SAP (0, 20, 40 и 60 г на 1 растение), четыре режима орошения (5, 8, 11 и 14 дней) и способы использования полимера (наслоение и смешанная почва) в тепличных условиях на салате. Результаты свидетельствуют об отсутствии существенных различий между режимами полива, а также показателями свежей и сухой массы. Более того, высокая доза применения SAP (60 г на 1 растение) способствовала увеличению сырой и сухой массы по сравнению с контролем (без полимера) и самой низкой дозой полимера (20 г на 1 растение). Результаты показали, что применение SAP в высоких дозах положительно влияет на рост салата.

Изучена эффективность использования накопителей влаги (гидрогелей) при локальном внесении в семеноводстве капусты белокочанной, моркови столовой и лука репчатого (Зведенюк и др., 2015).

Оборудование для внесения гидрогеля

На мировом рынке доступно оборудование для внесения полимеров (Condor Industries Inc., Огден, Юта, США) – инжектор Aqua-Life Tree, который осуществляет внесение либо сухих, либо гидратированных полимеров. Инжектор испытан в садах, парках и на обочинах дорог при посадке деревьев и кустарников. Injection Aeration Systems Inc. (IAS) (Серритос, Калифорния) предлагает три различных полимерных инжектора: для фруктовых садов и виноградников, газонов, озеленения и приусадебных участков. Все форсунки от IAS предназначены для нагнетания сухого полимера с использованием закачки воды под высоким давлением (204 атм.) и камеры Вентури. Камера Вентури создает вакуум, который всасывает сухой полимер из бункера и подает в поток воды. Инжекторы могут помещать полимер на глубину от 10 до 50 см под поверхность

почвы в зависимости от размещения отдельных культур. Оба инжектора полимера также аэрируют почву, внося полимер.

Влияние гидрогеля на удержание воды в почве

Использование SAP снижает скорость гравитационных потерь воды за счет влагопоглощения (Montesano et al., 2015). Внесение гидрогеля «Ритин-10» (ООО «РИТЭК-ЭНПЦ», Россия) в дозах 0,10–0,25% от массы почвы приводит к снижению ее плотности в 1,2–1,5 раза, что создает дополнительную пористость и повышает полную влагоемкость до 30–40% против 23–25% в контроле. Химический состав гидрогеля «Ритин-10» следующий: С – 11%; N – 4,7%; O₂ – 16,4%; Cl – 1,01%; K – 27,05%; Na – 36,98%. 1 г гидрогеля «Ритин» удерживает около 300 мл воды, доступность влаги для растений составляет 95%, производительность в почве – до пяти лет. Вода, поглощаемая гидрогелем, находится в диапазоне доступной для растений влаги (30–50 кПа). Наибольший эффект от воздействия гидрогеля на водоудерживающую способность почв отмечен на образцах дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля в дозе 0,2%. Также отмечено снижение степени набухания гидрогеля при переходе от воды к растворам солей. При внесении гидрогеля в почву ее влагоемкость повышалась (Данилова, 2013).

В исследованиях ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО, проведенных на посевах свеклы столовой и моркови на аллювиальных луговых почвах, внесение SAP (полимер акриламида влагопоглощающий, серия АК-639, марка В-415К) обусловило увеличение содержания влаги в слое почвы 0–5 см по сравнению с контрольным вариантом, где SAP не вносился (рис. 2). Содержание влаги в почве в варианте без орошения целиком зависело от количества выпавших осадков. Внесение SAP во всех изученных случаях улучшало обеспеченность растений доступной влагой (Янченко и др., 2023).

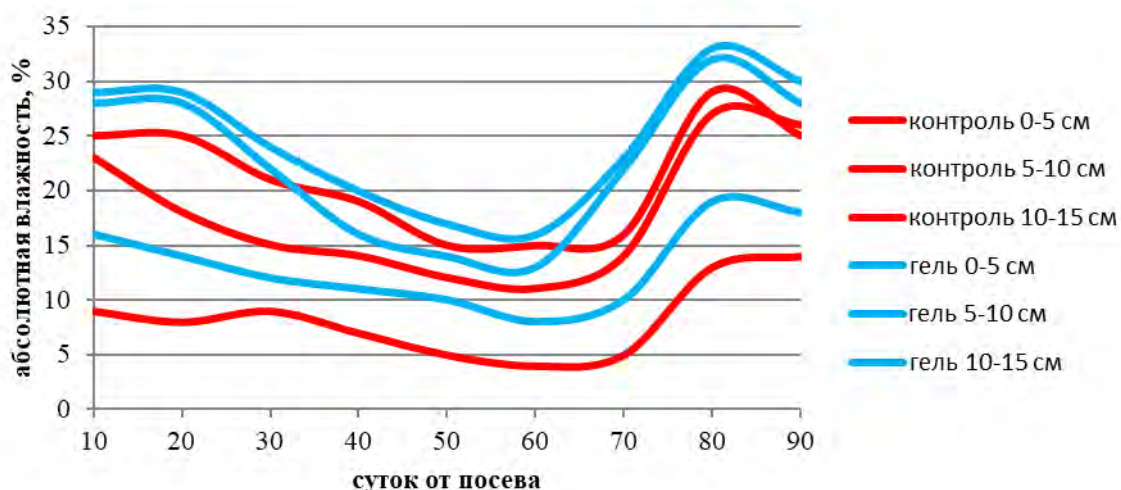


Рис. 2. Динамика абсолютной влажности почвы на различной глубине (среднее за 2017–2019 гг.) (Данилова, 2013)

Объемы поглощения влаги полимером Aquasorb («SNF s.a.s.», Франция) варьируются от 30 до 500 л кг⁻¹ сухого SAP. Такая водопоглощающая способность может эффективно поддерживаться в течение 4–5 лет, при этом водообмен между почвой и полимером носит обратимый характер (Mohammad et al., 2008).

Влияние гидрогеля на экономию воды

Жоао с соавт. (2007) установили, что более 90 % воды, поглощенной SAP, доступно корням растений. В среднем при потенциале влажности почвы 15 бар SAP удерживают воду только в 23 раза больше ее веса. Количество доступной для посадки растений влаги в полимерах варьировалось от 313 до 427 раз больше массы SAP. В каждый период роста сельскохозяйственных культур наблюдалось, по крайней мере, 8–10 циклов увлажнения и сушки из-за периодических дождей или орошения и засухи. После 8 циклов смачивания и сушки остаточный эффект полимера с точки зрения водопоглощающей способности составил около 50%. Данные о содержании влаги в почве после применения воды до насыщения при различных дозах внесения полимеров показали, что на содержание влаги влияли время и количество добавленных в почву полимеров. После 13 дней сушки, когда в почвах без полимера содержалось всего 1,9% влаги, почвы с 0,5% гидрогеля имели влажность 14%, а почвы с 0,25 % гидрогеля – 9. Даже через 24 дня почвы с полимерами сохраняли влажность

на уровне 6%, т. е. характеризовались более высокой влажностью, чем почвы в варианте без внесения SAP.

В Российской Федерации одной из проблем, сдерживающих широкое применение SAP импортного производства, является их высокая цена. Цена испытанного во ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО полимера акриламида водопоглощающего АК-639 находилась в пределах 230 руб. га⁻¹, что в 6-7 раз ниже стоимости зарубежного полиакриламида. Суперабсорбент производится ООО «Акрипол» (г. Саратов) и имеет санитарно-эпидемиологическое заключение о разрешении к применению в качестве SAP в сельском хозяйстве.

Наибольший экономический эффект от применения SAP при выращивании моркови получен в варианте с использованием отечественного полимера акриламида водопоглощающего марки АК-639 при ленточном внесении в дозе 1,75 кг га⁻¹. Прибыль увеличилась по сравнению с контролем с 172,1 до 293,5 тыс. руб. га⁻¹, а рентабельность – с 95,2 до 111,4% (табл. 2).

Применение SAP при выращивании свеклы столовой оказалось менее эффективным по сравнению с морковью. Наилучшим вариантом оказалось внесение SAP в дозе 1,75 кг га⁻¹. Прибыль увеличилась по сравнению с контролем с 98,2 до 165,2 тыс. руб. га⁻¹, а рентабельность производства – с 52,6 до 59,4%. Увеличение количества вносимого SAP в два раза привело к снижению урожайности товарных корнеплодов.

Таблица 2. Экономическая эффективность выращивания моркови и свеклы столовой с использованием полимера акриламида водопоглощающего серии АК-639, марка В-415К на аллювиальных луговых почвах (2017–2019 гг.)

Вариант	Урожайность товарных корнеплодов, т га ⁻¹	Стоимость валовой продукции, тыс. руб. га ⁻¹	Затраты, руб. га ⁻¹	Себестоим-ть, тыс. руб. т ⁻¹	Прибыль, тыс. руб. га ⁻¹	Рентаб-ность, %
Морковь столовая						
Контроль	44,1	352,8	180,7	4,1	172,1	95,2
1,75 кг га ⁻¹	69,6	556,8	263,3	3,8	293,5	111,4
3,5 кг га ⁻¹	52,9	423,2	342,4	6,5	80,8	23,6
Свекла столовая						
Контроль	35,6	284,8	186,6	5,2	98,2	52,6
1,75 кг га ⁻¹	55,4	443,2	278,0	5,0	165,2	59,4
3,5 кг га ⁻¹	43,2	345,6	340,3	7,9	5,3	1,5

Природные полимеры

Разработаны многокомпонентные SAP на основе природных полимеров и экологически чистых добавок, такие как полисахариды (Li et al., 2009), которые имеют хорошие модификационные и экологические свойства, а также преимущество в виде низкой стоимости производства (Ma et al., 2011). И крахмал, и целлюлоза – углеводные полимеры, биосовместимые, биоразлагаемые, нетоксичные, дешевые и возобновляемые, которые являются наиболее распространенным ресурсом в природе. Зачастую природные SAP являются отходами других производств.

Рисовая солома – самый распространенный лигноцеллюлозный компонент. Биохимический состав рисовой соломы сходен с типичным составом

лигноцеллюлозного остатка сельскохозяйственного происхождения: содержит в среднем 30–45% целлюлозы, 20–25% гемицеллюлозы, 15–20% лигнина, а также ряд второстепенных органических соединений (Abdelhady et al., 2014). Целлюлоза, которая имеет большое количество гидроксильных групп, может легко использоваться для производства SAP (Li et al., 2009). По сравнению с синтетическим SAP, полимерные гидрогели на основе целлюлозы имеют более высокую впитывающую способность, прочность, солеустойчивость, биоразлагаемость и биосовместимость.

Картофель обычно очищают от кожуры во время переработки, и производственные потери в виде отходов кожуры могут варьироваться от 15 до 40% в зависимости от метода очистки. Ежегодно после

промышленной переработки картофеля остается значительное количество отходов кожуры в качестве побочного продукта. Кожура сырого картофеля – недорогой побочный продукт, который содержит большое количество крахмала (52 г на 100 г сухой массы), некрахмальные полисахариды, лигнин, полифенолы, белок и небольшое количество липидов (Wu et al., 2012).

Крахмал – это природный полимер, образованный остатками глюкозы, который обладает множеством уникальных свойств. Его можно получить из пшеницы, кукурузы, картофеля и других растений. Поскольку это биоразлагаемый полимер с четко определенными химическими свойствами, он обладает огромным потенциалом в качестве универсального возобновляемого ресурса для различных материалов в разных областях (Benabid, Zouai, 2016).

В качестве кондиционера почвы с длительным высвобождением азота разработана линейка возобновляемых гидрогелей на основе смеси сывороточных белков и альгиновой кислоты. Гидрогели получают путем термофиксации с применением хлорида кальция в качестве сшивающего агента (Di Martino et al., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

SAP представляют собой синтетические водопоглощающие вещества с высокой молекулярной массой. Полимеры отличаются друг от друга мономерами, количеством поглощаемой воды на единицу веса SAP, размером и распределением частиц, реакцией на соленость и стоимостью. Преимущества внесения полимера в почву или искусственную среду заключаются в увеличении влагоудерживающей способности, размера и числа пор, запасов влаги и питательных веществ в почве и уменьшении уплотнения почвы. Применение гидрогеля в засушливых и полусушливых регионах повышает эффективность орошения, увеличивает рост и продуктивность овощных культур. Многокомпонентные SAP на основе природных полимеров и экологически чистых добавок имеют коммерческие и экологические преимущества, а также более низкую стоимость по сравнению с синтетическими полимерами. Разработка оборудования для внесения гидрогеля может расширить область применения SAP для крупных коммерческих производителей.

Список литературы

- Азопков М.И. Полиакриламид повышает полевую всхожесть семян и урожай моркови в неорошаемых условиях // Картофель и овощи. 2012. № 7. С. 21.
- Воскобойникова Т.Г., Околелова А.А., Манов Р.О. Увеличение всхожести семян редиса с помощью гидрогеля на различных типах почв // Научные ведомости Белгородского университета. Сер. Естественные науки. 2015. № 9 (206). Вып. 31. С. 37–42.
- Гуменный В.А. Гидрогель, внесенный в почву, – залог высокого урожая свеклы // Картофель и овощи. 2012. № 1. С. 12–13.
- Данилова Т.Н. Влияние полимерного геля РИТИН-10 на водно-физические свойства почв // Агрофизика. 2013. № 2. С. 38–43.
- Зведенюк А.П., Казаку В.И., Фучеджи Д.Ф., Жмурко А.Г. Эффективность применения накопителей влаги в семеноводстве двухлетних овощных культур // Современное состояние и перспективы инновационного развития сельского хозяйства. Доклады международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня основания Научно-исследовательского института сельского хозяйства. ГУ «Приднестровский НИИ сельского хозяйства», ПМР. Тирасполь, 2015. С. 104–107.
- Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С., Рахимова Н.А., Кастерина Н.Г., Заикина В.Н., Щербакова Л.Ф. Применение гидрогеля в почвах. Монография. Волгоградский ГАУ, ВолгГТУ. Волгоград, ИПК ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива», 2016. 103 с.
- Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2021. 306 с.
- Янченко А.В., Федосов А.Ю., Меньших А.М., Азопков М.И., Голубович В.С. Применение полимерных гелей при производстве корнеплодов моркови столовой // Картофель и овощи. 2023. № 1. С. 20–23.
- Abdelhady S., Borello D., Shaban A., Rispoli F. Viability study of biomass power plant fried with rice straw in Egypt // Energy Proced. 2014. № 61. pp. 211–215.
- Al-Harbi A.R., Al-Omran A.M., Shalaby A.A., Choudhary M.I. Efficacy of a Hydrophilic Polymer Declines with Time in Greenhouse Experiments // Hort. Science. 1999. № 34 (2). pp. 223–224.
- Allahdady. Examining application effects of super absorbent hydrogels on reducing drought stress in plants. Second specialized course, learning agricultural and industrial applications of super absorbent hydrogels, Iran polymer research institute of petrochemical // Pakistan journal of biological sciences. 2002. № 10 (23). pp. 4190–4196.
- Ananda P. A. Influence of superabsorbent polymer on plant growth and productivity in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* Linn.). Master of Science, Thesis submitted to the University of Agricultural Sciences, Dharwad, 2009.
- Azevedo T.L.F., Bertonha A., Gonçalves A.C.A. Uso de Hidrogel na agricultura // Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais. 2002. № 1. pp. 23–31.
- Benabid F.Z., Zouai F. Natural polymers: cellulose, chitin, chitosan, gelatin, Starch, carrageenan, xylan and dextran // Algerian Journal of Natural Products. 2016. № 4 (3). pp. 348–357.
- Blodgett A.M., Beattis D.J., White J.W., Elliot G.C. Hydrophilic polymers and wetting agents affect absorption and evaporate water loss // Horticultural Science. 1993. № 28. pp. 633–635.

- Choudhary S.K., Jat A.L., Upadhyay P.K., Singh R.K. Hydrogel: The Potentialities to Produce More Crops per Drop in Agriculture // Pop. Kheti. 2014. № 2 (4). pp. 154–158.
- Cruz M.C.M., Hafle O.M., Ramos J.D., Ramos O.S. Desenvolvimento do porta-enxerto de tangerineira 'Cleópatra' // Rev. Bras. Frutic. 2008. № 30. pp. 471–475.
- Dehkordi K.D. Effect of superabsorbent polymer on salt and drought resistance of eucalyptus globulus // Applied Ecology and Environmental Research. 2017. № 15 (4). pp. 1791–1802.
- Di Martino A., Khan Y.A., Durpekova S., Sedlarik V., Elich O., Cechmankova J. Ecofriendly renewable hydrogels based on whey protein and for slow release of fertilizers and soil conditioning // Journal of Cleaner Production. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124848>
- El-Sayed E.H., Laz S.I., Ibrahim E.G. Yield efficiency, mineral nutrients content and salt distribution in rooting zone of fig trees under different irrigation systems and water quantity in men reclaimed sandy soil // Egypt. J. Appl. Sci. 2002. № 17 (10). pp. 700–721.
- Evans I.S., Bowman D.C. The effectiveness of hydrogels in container plant production is reduced by fertilizer salts // Foliage Dig. 1990. № 3. pp. 3–5.
- Giuseppe C., Andrea D., Egidio M.M., Alessandro S. Experimental assessment of the use of a Novel Superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process // Water. 2014. № 6. pp. 2056–2069.
- Islam M.R., Hu Y., Mao S., Jia P., Eneji A.E., Xue X. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2011. № 91. pp. 813–819.
- Joao C.M., Bordado P., Gomez J.F. New technologies for effective forest fire fighting // International Journal of Environmental Studies. 2007. № 64 (2). pp. 243–251.
- Johnson M.S. Effect of soluble salts on water absorption by gel forming soil conditioners // Journal of Science and Food Agriculture. 1984. № 35 (10). pp. 1063–1066.
- Johnson M.S., Veltkamp C.J. Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides // J. Sci. Food Agr. 1985. № 36. pp. 789–793.
- Kabiri R. Introduction and Application of Super Absorbent Hydrogels, the Third Training Course and Seminar on Agricultural Applications of Superabsorbent Hydrogels // Iran Polymer and Petrochemical Institute. Iranian Polymer Journal. 2005. № 17 (6). pp. 451–477.
- Li J., Jiang M., Wu H. Addition of modified bentonites in polymer gel formulation of 2, 4-D for its controlled release in water and soil // J. Agric. Food Chem. 2009. № 57 (7). pp. 2868–2874.
- Ma Z., Li Q., Yue Q., Gao B., Xu X., Zhong Q. Synthesis and characterization of a novel superabsorbent based on wheat straw // Bio Resource Technology. 2011. № 102 (3). pp. 2853–2858.
- Meena M.K., Nawalagatti C.M., Chetti M.B. Influence of hydrophilic polymer on different crop growth parameters and yield in tomato // Asian Journal of Bio Science. 2011. № 6 (1). pp. 121–127.
- Mohammad J., Zohuriaan-Mehr M.J., Kabiri K. Superabsorbent polymer materials: a review // Iranian Polymer Journal. 2008. № 17 (6). pp. 451–477.
- Mohammad S., Fardin G. Effects of Super Absorbent Polymer A200 on the Growth, Yield and Some Physiological Responses in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) under various irrigation regimes // International Journal of Agricultural and Food Research. 2012. № 1 (1). pp. 1–11.
- Montesano F.F., Parente A., Santamaria P. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth // Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2013. № 4. pp. 451–458.
- Nikoorazm K.H., Lotfi M., Hematian-Dehkordi M. Effect of application of Superabsorbent polymer, irrigation regimes and polymer usage style on lettuce growth (*Lactuca sativa* L.) // The Sixth International Horticultural Congress. 2009. № 5. pp. 301–306.
- Nirmala A., Thirupathaiah G. Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops- review. International Journal of Chemical Studies, 2019, 7, 787–795.
- Nnadi F., Brave C. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands // Journal of Soil Science and Environmental Management, 2011, no. 2 (7), pp. 206–211.
- Orzolek M.D. Reduction of nitrogen requirement for vegetable production with polymers // Proc. 23rd Natl. Agr. Plastics Congr. 1991. pp. 204–210.
- Ovalesha M.A., Yadav B., Rai P.K. Effects of polymer seed coating and seed treatment on plant growth, seed yield and quality of Cowpea (*Vigna unguiculata*) // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2017. № 6(4). pp. 106–109.
- Pvor A. Pretty poly // California Farmer. 1988. № 10. pp. 12.
- Rajiv D., Neelkanth B., Bipin P. Effect on the absorption rate of agricultural super absorbent polymers under the mixer of soil and different quality of irrigation water // International Journal of Engineering Research & Technology. 2014. № 1. pp. 1402–1406.
- Saguy I.S., Singh R.P., Johnson T., Fryer P.J., Sastry S.K. Challenges facing food engineering // J. Food Eng. 2013. № 119. pp. 332–342.
- Sivapalan S. Some benefits of treating a sandy soil with a cross-linked type polyacrylamide // Aust. J. Exp. Agric. 2006. № 46. pp. 579–584.

- Yazdani F., Allahdadi I., Akbari G.A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of Soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition // Pakistan Journal of Biological Science. 2007. № 10. pp. 4190–4196.
- Waleed F.A. Nanotechnology Application in Agriculture // Acta Scientific Agriculture. 2018. № 4. pp. 99–102.
- Wu Z.-G., Xu H.Y., Ma Q., Cao Y., Ma J.-N., Ma C.-M. Isolation, identification and quantification of unsaturated fatty acids, amides, phenolic compounds and glycoalkaloids from potato peel // Food Chemistry. 2012. № 135. pp. 2425–2429.

References

- Azopkov M.I. Poliakrilamid povyshayet polevuyu vshozhest' semyan i urozhay morkovi v neoroshayemykh usloviyakh [Polyacrylamide increases field seed germination and carrot yield under non-irrigated conditions] // *Kartofel' i ovoshchi*, 2012, no. 7, pp. 21.
- Voskoboinikova T.G., Okolelova A.A., Manov R.O. Uvelicheniye vshozhesti semyan redisa s pomoshch'yu gidrogelya na razlichnykh tipakh pochv [Increasing the germination of radish seeds using hydrogel on various soil types] // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo universiteta. Ser. Yestestvennyye nauki*, 2015, no. 9 (206), issue 31, pp. 37–42.
- Gumenny V.A. Gidrogel', vnesyonnyy v pochvu, – zalog vysokogo uroznya svyokly [Hydrogel applied to the soil is the key to a high beet harvest] // *Kartofel' i ovoshchi*, 2012, no. 1, pp. 12–13.
- Danilova T.N. Vliyaniye polimernogo gelya RITIN-10 na vodno-fizicheskiye svoystva pochv [Influence of polymer gel RITIN-10 on the water-physical properties of soils] // *Agrofizika*, 2013, no. 2, pp. 38–43.
- Zvedenyuk A.P., Kazaku V.I., Fuchedzhi D.F., Zhmurko A.G. Effektivnost' primeneniya nakopiteley vlagi v semenovodstve dvukhletnikh ovoshchnykh kul'tur [The effectiveness of the use of moisture accumulators in seed production of two-year vegetable crops] // *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy innovatsionnogo razvitiya sel'skogo khozyaystva. Doklady mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu so dnya osnovaniya Nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyaystva*. GU «Pridnestrovskiy NII sel'skogo khozyaystva», PMR. Tiraspol', 2015, pp. 104–107.
- Okolelova A.A., Zheltobryukhov V.F., Yegorova G.S., Rakhimova N.A., Kasterina N.G., Zaikina V.N., Shcherbakova L.F. *Primeneniye gidrogelya v pochvakh. Monografiya* [Application of hydrogel in soils. Monograph]. Volgogradskiy GAU, VolgGTU. Volgograd, IPK FGBOU VO Volgogradskiy GAU «Niva», 2016, 103 p.
- Fedosov A.Yu., Men'shikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A. *Innovatsionnyye tekhnologii orosheniya ovoshchnykh kul'tur* [Innovative technologies for irrigation of vegetable crops]. M.: Kim L.A., 2021, 306 p.
- Yanchenko A.V., Fedosov A.Ju., Men'shikh A.M., Azopkov M.I., Golubovich V.S. *Primeneniye polimernykh geley pri proizvodstve korneplodov morkovi stolovoy* [The use of polymer gels in the production of table carrot roots] // *Kartofel' i ovoshchi*, 2023, no. 1, pp. 20–23.
- Abdelhady S., Borello D., Shaban A., Rispoli F. Viability study of biomass power plant fried with rice straw in Egypt // *Energy Proced.*, 2014, no. 61, pp. 211–215.
- Al-Harbi A.R., Al-Omran A.M., Shalaby A.A., Choudhary M.I. Efficacy of a Hydrophilic Polymer Declines with Time in Greenhouse Experiments // *Hort Science*, 1999, no. 34 (2), pp. 223–224.
- Allahdady. Examining application effects of super absorbent hydrogels on reducing drought stress in plants. Second specialized course, learning agricultural and industrial applications of super absorbent hydrogels, Iran polymer research institute of petrochemical // *Pakistan journal of biological sciences*, 2002, no. 10 (23), pp. 4190–4196.
- Ananda P.A. Influence of superabsorbent polymer on plant growth and productivity in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* Linn.). Master of Science, Thesis submitted to the University of Agricultural Sciences, Dharwad, 2009.
- Azevedo T.L.F., Bertonha A., Gonçalves A.C.A. Uso de Hidrogel na agricultura // *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, 2002, no. 1, pp. 23–31.
- Benabid F.Z., Zouai F. Natural polymers: cellulose, chitin, chitosan, gelatin, Starch, carrageenan, xylan and dextran // *Algerian Journal of Natural Products*, 2016, no. 4 (3), pp. 348–357.
- Blodgett A.M., Beattis D.J., White J.W., Elliot G.C. Hydrophilic polymers and wetting agents affect absorption and evaporate water loss // *Horticultural Science*, 1993, no. 28, pp. 633–635.
- Choudhary S.K., Jat A.L., Upadhyay P.K., Singh R.K. Hydrogel: The Potentialities to Produce More Crops per Drop in Agriculture // *Pop. Kheti*, 2014, no. 2 (4), pp. 154–158.
- Cruz M.C.M., Hafle O.M., Ramos J.D., Ramos O.S. Desenvolvimento do porta-enxerto de tangerineira 'Cleópatra' // *Rev. Bras. Frutic.*, 2008, no. 30, pp. 471–475.
- Dehkordi K.D. Effect of superabsorbent polymer on salt and drought resistance of eucalyptus globulus // *Applied Ecology and Environmental Research*, 2017, no. 15 (4), pp. 1791–1802.
- Di Martino A., Khan Y. A., Durpekova S., Sedlarik V., Elich O., Cechmankova J. Ecofriendly renewable hydrogels based on whey protein and for slow release of fertilizers and soil conditioning // *Journal of Cleaner Production*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124848>
- El-Sayed E.H., Laz S.I., Ibrahim E.G. Yield efficiency, mineral nutrients content and salt distribution in rooting zone of fig trees under different irrigation systems and water quantity in men reclaimed sandy soil // *Egypt. J. Appl. Sci.*, 2002, no. 17 (10), pp. 700–721.
- Evans I.S., Bowman D.C. The effectiveness of hydrogels in container plant production is reduced by fertilizer salts // *Foliage Dig.*, 1990, no. 3, pp. 3–5.

- Giuseppe C., Andrea D., Egidio M.M., Alessandro S. Experimental assessment of the use of a Novel Superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process // *Water*, 2014, no. 6, pp. 2056–2069.
- Islam M.R., Hu Y., Mao S., Jia P., Eneji A.E., Xue X. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, no. 91, pp. 813–819.
- Joao C.M., Bordado P., Gomez J.F. New technologies for effective forest fire fighting // *International Journal of Environmental Studies*, 2007, no. 64 (2), pp. 243–251.
- Johnson M.S. Effect of soluble salts on water absorption by gel forming soil conditioners // *Journal of Science and Food Agriculture*, 1984, no. 35 (10), pp. 1063–1066.
- Johnson M.S., Veltkamp C.J. Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides // *J. Sci. Food Agr.*, 1985, no. 36, pp. 789–793.
- Kabiri R. Introduction and Application of Super Absorbent Hydrogels, the Third Training Course and Seminar on Agricultural Applications of Superabsorbent Hydrogels // *Iran Polymer and Petrochemical Institute. Iranian Polymer Journal*, 2005, no. 17 (6), pp. 451–477.
- Li J., Jiang M., Wu H. Addition of modified bentonites in polymer gel formulation of 2, 4-D for its controlled release in water and soil // *J. Agric. Food Chem.*, 2009, no. 57 (7), pp. 2868–2874.
- Ma Z., Li Q., Yue Q., Gao B., Xu X., Zhong Q. Synthesis and characterization of a novel superabsorbent based on wheat straw // *Bio Resource Technology*, 2011, no. 102 (3), pp. 2853–2858.
- Meena M.K., Nawalagatti C.M., Chetti M.B. Influence of hydrophilic polymer on different crop growth parameters and yield in tomato // *Asian Journal of Bio Science*, 2011, no. 6 (1), pp. 121–127.
- Mohammad J., Zohuriaan-Mehr M.J., Kabiri K. Superabsorbent polymer materials: a review // *Iranian Polymer Journal*, 2008, no. 17 (6), pp. 451–477.
- Mohammad S., Fardin G. Effects of Super Absorbent Polymer A200 on the Growth, Yield and Some Physiological Responses in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) under various irrigation regimes // *International Journal of Agricultural and Food Research*, 2012, no. 1 (1), pp. 1–11.
- Montesano F.F., Parente A., Santamaria P. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth // *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2013, no. 4, pp. 451–458.
- Nikoorazm K.H., Lotfi M., Hematian-Dehkordi M. Effect of application of Superabsorbent polymer, irrigation regimes and polymer usage style on lettuce growth (*Lactuca sativa* L.) // *The Sixth International Horticultural Congress*, 2009, no. 5, pp. 301–306.
- Nirmala A., Thirupathaiah G. Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops- review. *International Journal of Chemical Studies*, 2019, 7, 787–795.
- Nnadi F., Brave C. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands // *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2011, no. 2 (7), pp. 206–211.
- Orzolek M.D. Reduction of nitrogen requirement for vegetable production with polymers // *Proc. 23rd Natl. Agr. Plastics Congr.*, 1991, pp. 204–210.
- Ovalesha M.A., Yadav B., Rai P.K. Effects of polymer seed coating and seed treatment on plant growth, seed yield and quality of Cowpea (*Vigna unguiculata*) // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2017, no. 6(4), pp. 106–109.
- Pvor A. Pretty poly // *California Farmer*, 1988, no. 10, pp. 12.
- Rajiv D., Neelkanth B., Bipin P. Effect on the absorption rate of agricultural super absorbent polymers under the mixer of soil and different quality of irrigation water // *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2014, no. 1, pp. 1402–1406.
- Saguy I.S., Singh R.P., Johnson T., Fryer P.J., Sastry S.K. Challenges facing food engineering // *J. Food Eng.*, 2013, no. 119, pp. 332–342.
- Sivapalan S. Some benefits of treating a sandy soil with a cross-linked type polyacrylamide // *Aust. J. Exp. Agric.*, 2006, no. 46, pp. 579–584.
- Yazdani F., Allahdadi I., Akbari G.A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of Soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition // *Pakistan Journal of Biological Science*, 2007, no. 10, pp. 4190–4196.
- Waleed F.A. Nanotechnology Application in Agriculture // *Acta Scientific Agriculture*, 2018, no. 4, pp. 99–102.
- Wu Z.-G., Xu H.Y., Ma Q., Cao Y., Ma J.-N., Ma C.-M. Isolation, identification and quantification of unsaturated fatty acids, amides, phenolic compounds and glycoalkaloids from potato peel // *Food Chemistry*, 2012, no. 135, pp. 2425–2429.