

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

УДК 631.847.22:635.64



Научная статья

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЯ И КУЛЬТУРЫ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS MYCOIDES* A7 НА РОСТ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

А.Д. Елисеева, А.Ю. Максимов

Обоснование. Неравномерное распределение и недостаток воды является одной из глобальных проблем с которой сталкиваются во всем мире. Особенно актуально неравномерное водообеспечение для растениеводства. В сельскохозяйственной практике проблема недостатка воды может быть решена путем внесения в почву препаратов на основе гидрогелей. Использование гидрогелей позволяет снизить частоту полива и уплотнение почвы, остановить эрозию, вымывание питательных веществ и биогенных элементов, оптимизировать аэрацию почвы и микробиологическую активность. Однако имеющиеся на рынке сорбционные полимеры сельскохозяйственного назначения не решают проблемы питания и оздоровления растений.

Цель. Целью настоящих экспериментов является определение влияния комплексных препаратов на основе полимерного носителя и штамма фосфатмобилизующих бактерий *Bacillus mycooides* A7, обладающего амилазной и липазной активностью на рост рассады томата в условиях светоккультуры.

Материалы и методы исследований. Для оценки влияния разных вариантов биопрепарата на рост томатов скороспелого сорта «Балконное чудо» измеряли морфометрические параметры и биохимические показатели растений. В каждом варианте определяли среднее значение и стандартное отклонение. Измерение концентрации пролина в листьях проводили по описанию Бейтса и др., 1973. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорд, 1976. Активность антиоксидантного фермента пероксидазы оценивали по методу Чанса и Мэли, 1955. Активность каталазы измеряли по методу Накано и Асады, 1981.

Результаты. Показано, что добавление в грунт как биомассы *Bacillus mycooides* A7, так и полученных комплексных препаратов, оказывает выраженное ростостимулирующее действие на модельные растения. Инокуляция жидкой суспензии культуры *B. mycooides* A7 в большей степени стимулировала рост модельных растений, чем все препараты чистого гидрогеля, но в меньшей, чем все комплексные препараты этой культуры с гидрогелями. Установлено также, что варианты с внесением культуры бактерий и комплексного препарата содержат меньшие концентрации стрессовых факторов, что свидетельствует о нормализации обменных процессов и общего состояния модельных растений.

Заключение. Исследование влияния комплексных препаратов на основе полиакриламидного гидрогеля и культуры фосфатмобилизирующих бактерий *Bacillus mycooides* A7, продуцента ферментов амилазы и липазы, на рост растений томатов скороспелого сорта «Балконное чудо» в условиях светокультуры показало, что данная культура в составе комплексного препарата, нормализует физиологическое состояние и стимулирует рост растений.

Ключевые слова: акриловые полимеры; *Bacillus mycooides* A7; бактериальные препараты; томаты

Для цитирования. Елисеева А.Д., Максимов А.Ю. Влияние комплексных препаратов на основе гидрогеля и культуры фосфатмобилизирующих бактерий *Bacillus mycooides* A7 на рост томатов в условиях светокультуры // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 239-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

Original article

THE INFLUENCE OF COMPLEX PREPARATIONS BASED ON HYDROGEL AND CULTURE OF PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA *BACILLUS MYCOIDES* A7 ON TOMATO GROWTH UNDER LIGHT CULTURE

A.D. Eliseeva, A.Yu. Maksimov

Background. Uneven distribution and lack of water is one of the global problems faced all over the world. Particularly relevant is the uneven water supply for crop production. In agricultural practice, the problem of water shortage can be solved by introducing preparations based on hydrogels into the soil. The use of hy-

drogels makes it possible to reduce the frequency of irrigation and soil compaction, stop erosion, leaching of nutrients and biogenic elements, optimize soil aeration and microbiological activity. However, agricultural sorption polymers available on the market do not solve the problems of plant nutrition and health improvement.

The **purpose** of these experiments is to determine the effect of complex preparations based on a polymer carrier and a strain of phosphate-mobilizing bacteria *Bacillus mycoides* A7, which has amylase and lipase activity, on the growth of tomato seedlings under light culture conditions.

Materials and research methods. To assess the effect of different variants of the biological product on the growth of tomatoes of the early ripe variety “Balkonnoe chudo”, the morphometric parameters and biochemical parameters of plants were measured. In each variant, the mean value and standard deviation were determined. Proline concentration in leaves was measured as described by Bates et al., 1973. Protein concentration was determined by the method of Bradford, 1976. The activity of the antioxidant peroxidase enzyme was evaluated by the method of Chance and Maley, 1955. Catalase activity was measured by the method of Nakano and Asads, 1981.

Results. It has been shown that the addition of both *Bacillus mycoides* A7 biomass and the obtained complex preparations to the soil has a pronounced growth-stimulating effect on model plants. Inoculation of a liquid suspension of *B. mycoides* A7 culture stimulated the growth of model plants to a greater extent than all preparations of pure hydrogel, but to a lesser extent than all complex preparations of this culture with hydrogels. It was also established that the variants with the introduction of a bacterial culture and a complex preparation contain lower concentrations of stress factors, which indicates the normalization of metabolic processes and the general condition of model plants.

Conclusion. The study of the effect of complex preparations based on polyacrylamide hydrogel and a culture of phosphate-mobilizing bacteria *Bacillus mycoides* A7, a producer of amylase and lipase enzymes, on the growth of tomato plants of the early ripening “Balkonnoe chudo” variety under light culture conditions showed that this culture, as part of a complex preparation, normalizes the physiological hygienic state and stimulates plant growth.

Keywords: acrylic polymers; *Bacillus mycoides* A7; bacterial preparations; tomato

For citation. Eliseeva A.D., Maksimov A.Yu. The Influence of Complex Preparations Based on Hydrogel and Culture of Phosphate-Mobilizing Bacteria *Bacillus mycoides* A7 on Tomato Growth under Light Culture. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 239-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

Введение

Акриловые полимеры – известная группа материалов, имеющих широкий спектр применения, включающий лакокрасочные материалы, клеи, конструкционные и строительные материалы, суперабсорбенты, в том числе медицинского и сельскохозяйственного применения. За последние два десятилетия их производство и ассортимент значительно расширились [8, 9, 17]. Сополимеризация акриловой кислоты или ее солей и акриламида используется в производстве большинства современных суперабсорбентов. Благодаря водоудерживающей способности и удержанию питательных веществ от вымывания, суперабсорбенты были успешно испытаны в качестве препаратов для улучшения физических и физико-химических свойств почв в растениеводстве [2, 8, 14, 19-21]. В настоящее время изучается возможность применения данных материалов для решения и других сельскохозяйственных проблем. В частности, применение гидрогелей позволяет снизить частоту полива и уплотнение почвы, остановить эрозию и сток воды, повысить аэрацию почвы и микробиологическую активность [2, 3, 5, 7, 10-12, 22].

Гидрогели также действуют как система с контролируемым высвобождением включенных в матрицу геля компонентов, что способствует усвоению некоторых питательных элементов и органических веществ и агрохимикатов, удерживает их от вымывания из грунта, умеренно замедляет их растворение, а, следовательно, позволяет снизить и их расход. Растения могут долгое время получать доступ к биоактивным компонентам и удобрениям, связанным с гидрогелем, что способствует улучшению их роста и продуктивности. Однако чистый гидрогель остается достаточно дорогим материалом, что ограничивает его применение в сельском хозяйстве. В связи с этим представляют большой интерес получение, исследование и внедрение в практику комплексных материалов на основе полимерных гидрогелей, содержащих различные полезные компоненты: микроудобрения, биологические активные добавки или клетки средообразующих бактерий прикорневой микрофлоры. Поэтому актуальной задачей также является получение комплексных препаратов в качестве средств биологической защиты растений [4, 6-8, 10, 11, 14].

В настоящем исследовании проведены испытания комплексных препаратов на основе акриловых гидрогелей и бактерий – продуцентов ферментов, применение которых может стимулировать рост рассады томата. Исследование бактерий *Bacillus mycoides* в качестве основы комплексного препарата для растениеводства в условиях светокультуры проводится впервые.

Материалы и методы исследования

В работе использовали бактериальный штамм фосфатмобилизующих бактерий *B. mycooides* A7, продуцент амилазы и липазы, из коллекции лаборатории молекулярной биотехнологии ИЭГМ УрО РАН-филиала ПФИЦ УрО РАН. Культуру выращивали на среде Luria–Bertani (LB). Для определения влияния препаратов экстремотолерантных бактерий на рост модельных растений проведен эксперимент по инокуляции культуры, выращенной до стационарной фазы, отмытой и ресуспендированной в дистиллированной воде, в почвенную среду в количестве 50 мг по сухому весу клеток на 200 г по сухому весу садовой почвы. В качестве модельного растения использован скороспелый низкорослый сорт томатов (*Solanum lycopersicum*, L.) закрытого грунта «Балконное чудо».

Получение гидрогелевой основы – поперечносшитого гидрогеля на основе 7,5% акриламида и 7,5% акрилата проводили в объёме 300 мл смешением растворов мономеров: акриламид 35% – 64,5 мл, акрилат 20% – 112,5 мл, метиленабисакриламид 10% – 22,5 мл. До нужного объема доводили добавлением дистиллированной воды. Синтез полимерной основы проводили методом радикальной полимеризации. В качестве инициаторов полимеризации использовали персульфат калия и тетраметилэтилендиамин [1].

Процесс получения комплексных препаратов на основе гидрогелей, содержащих активные клетки бактерий, включал следующие стадии: 1) Выращивание активной биомассы бактерий глубинным способом в ёмкостном ферментере объёмом 5 литров. 2) Концентрирование сырой бактериальной массы методом центрифугирования (в случае масштабирования для промышленного применения возможны сепарация или фильтрация). 3) Синтез полимерной основы – сополимера поперечно-сшитого гидрогеля с использованием цитопротекторов и инновационного способа внесения активной биомассы, способствующего сохранению высокой жизнеспособности активных клеток. Полимеризация в течение 12 часов. 4) Размол сырой полимерной массы до частиц размером 2-3,5 мм. 5) Сушка в вакуумном сушильном шкафу при 30°C в течение 1 часа до влажности 70%.

Таким образом, получены препараты, содержащие клетки *B. mycooides* A7 в количестве 10^{10} клеток на 5 г гидрогеля. Для вегетационного опыта использовали препараты, полученные на этой стадии.

Выращивание томатов проводили в фитотроне при температуре 25°C в условиях 16-часового фотопериода. В качестве источника излучения использовали широкополосные светильники UniversalLED мощностью 100 Вт с максимумами излучения при 460, 530 и 800 нм.

Исследовали влияние разных вариантов биопрепарата на сформированные 20-суточные растения, подрощенные в равных условиях в лотках. Растения пересаживали в индивидуальные контейнеры объемом 800 мл с обедненным торфогрунтом и культивировали 60 суток. Полив осуществляли путем ежедневного внесения воды в каждый контейнер с растением по схеме: 1 неделя - 5 мл, 2-я неделя - 8 мл, 3-я неделя – 10 мл, 4-я неделя 12 мл, 5-я неделя и далее - по 15 мл.

Варианты опыта включали:

К – контроль, без гидрогеля и живых бактериальных культур;

К2 – без внесения гидрогеля с инокуляцией клеток бактериальной культуры, инактивированных прогревом 80°C 30 мин;

ГГ – поперечно-сшитый сополимер 7,5% акриламида (АА) и 7,5% акрилата (АК) в количестве 5 г;

ГГ-ВА – комплексный препарат (в количестве 5 г), содержащий биомассу *B. mycoides* А7 в количестве 10^{10} клеток с гидрогелем (ГГ);

ВА – инокуляция жидкой суспензии *B. mycoides* А7 в количестве 10^{10} клеток.

Каждый вариант включал 5 повторностей. В каждом варианте определяли среднее значение и стандартное отклонение. Статистическую обработку проводили с помощью стандартного программного пакета MS Excel. Определяли стандартное отклонение и стандартную ошибку среднего. Достоверность различий определяли по критерию Уилкоксона-Манна-Уитни.

Через 30 суток выращивания измеряли морфометрические параметры томатов. Для определения биохимических показателей тканей растения замороженные образцы листьев (0,5 г свежего веса) гомогенизировали при предварительном охлаждении в микропробирках объемом 2 мл с 1,5 мл 50 мм калий-фосфатного буфера (рН = 7,8), содержащего 0,5 мм ЭДТА на аппарате MagNa Lyser в соответствии с инструкцией производителя. Гомогенаты центрифугировали в течение 20 мин при 12 000 г при 4°C. Супернатанты использовали для определения ферментативной активности, количества общего белка и пролина. Пролин в листьях определяли по описанию Бейтса и др., 1973 [13] после экстракции при комнатной температуре. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорд, 1976 [15]. Активность антиоксидантного фермента пероксидазы оценивали при 470 нм по методу Чанса и Мэли, 1955 [16]. Активность каталазы измеряли путем определения окисления перекиси водорода спектрофотометрически при 240 нм с использованием метода Накано и Асады, 1981 [18].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследовано влияние внесения в почву препаратов чистого гидрогеля, биомассы *B. mycooides* А7 и комплексного препарата, содержащего гидрогель и клетки *B. mycooides* А7, на рост рассады томата сорта Балконное чудо в условиях светокультуры. В таблице 1 указаны результаты морфометрических измерений на 30-е сутки эксперимента.

Показано, что внесение гидрогеля стимулирует развитие растений, что можно объяснить нормализацией водного баланса почвенной среды. Инокуляция жидкой суспензии культуры *B. mycooides* А7 в большей степени стимулировала рост модельных растений, чем все препараты чистого гидрогеля, но в меньшей, чем все комплексные препараты этой культуры с гидрогелями (таблица 1).

Таблица 1.

Средние морфометрические параметры томатов на 30-ые сутки эксперимента в присутствии препаратов на основе гидрогеля

Вариант	Длина корня, см	Длина побега, см	Среднее количество цветков	Сухая масса, г	
				корня	побега
К	8,9±1,9	15,6±1,8	8,3±2,1	0,51±0,09	1,6±0,19
К2	10,4±2,1	16,3±2,1	9,7±1,2	0,54±0,10	1,85±0,24
ГГ	13,3±1,5	19,7±2,5	11,3±0,6	0,52±0,07	2,05±0,40
ГГ-ВА	14,2±1,2	24,9±2,8	13,6±1,5	0,56±0,11	2,38±0,52
ВА	13,2±0,9	20,4±2,2	13,0±2,6	0,53±0,12	2,18±0,43

Установлено, что при внесении культуры *B. mycooides* А7 морфометрические показатели томатов возрастали на 30% и более, рассада томата быстрее переходит к цветению и формирует большее количество цветков. Максимальный ростостимулирующий эффект обнаружен при применении комплексного препарата ГГ-ВА, содержащего клетки *B. mycooides* А7 поперечно-сшитый сополимер 7,5% акриламида и 7,5% акрилата (рисунок 1).

Таким образом, по морфометрическим показателям выявлено стимулирующее влияние добавления комплексных препаратов, содержащих гидрогель и культуру – продуцент гидролитических ферментов амидазы и липазы, на рост модельных растений.

Помимо морфометрических определяли биохимические показатели, связанные с влиянием стрессовых факторов среды на модельные растения: общее содержание белка, содержание естественного осмопротектора пролина, антиоксидантных ферментов – каталазы и пероксидазы (таблица 2).



Рис. 1. Растения томатов на 30-е сутки роста после инокуляции культур бактерий.

Варианты опыта:

- 1 – Контроль (К), без биодобавок с равным объемом буфера;
- 2 – Контроль (К2), с инактивированной бактериальной культурой;
- 3 – суспензия клеток *B. mycooides* A7;
- 4 – сополимер 7,5% АА + 7,5% АК с клетками *B. mycooides* A7.

Таблица 2.

Биохимические показатели листьев томатов на 30-е сутки роста

Вариант	Содержание белка, мг/г*	Среднее кол-во белка, мг	Пролин, мг/г*	Каталаза, ед/мг/мин	Пероксидаза, ед/мг/мин
К	12,3	19,7	34,2	26,7±1,7	22,1±1,5
К2	12,5	23,1	31,2	26,5±1,8	23,8±1,7
ГГ	11,8	24,2	23,3	25,1±1,4	23,5±1,9
ГГ-ВА	13,3	31,7	25,2	23,7±1,3	19,9±1,9
ВА	12,8	27,9	29,3	25,3±1,7	22,4±2,7

* – усредненная проба

Установлено, что содержание белка в мг на 1 г сырой биомассы в листовых пластинках менялось незначительно во всех вариантах. Однако в вариантах с внесением чистого гидрогеля наблюдалось небольшое (до 4,1%) снижение содержания белка относительно контроля, в то время как в вариантах с внесением клеточной культуры в составе комплексных препаратов наблюдался рост количества белка до 8,1% в варианте ГГ-ВА. Количество белка в вариантах с добавлением комплексных препаратов было также выше по сравнению с чистой культурой *B. mycooides* A7. Такой результат можно объяснить улучшением водного режима растений в присутствии чистого

гидрогеля, что приводит к лучшему сохранению воды в условиях лимитируемого полива и, соответственно, небольшому снижению относительного содержания растворимых компонентов, в том числе белка. Однако суммарное содержание белка в растении возрастало за счет большего количества биомассы (таблица 2). В то же время внесение биомассы *B. mycooides* A7, обладающей способностью к фосфатмобилизации, а также способностью к солнобилизации фосфата из малорастворимых соединений, таких, как фосфориты и гидроксипатит могло стимулировать метаболические процессы, что приводило к повышению концентрации растворимого белка.

Установлено, что содержание пролина было выше в контрольных вариантах, чем во всех вариантах с гидрогелем и комплексным препаратом. Это указывает на дефицит воды для растущих растений в вариантах без добавления гидрогеля и вероятность развития признаков легкого осмотического стресса. В то же время варианты с гидрогелем не нуждались в дополнительном получении влаги. В пользу данного предположения также свидетельствует повышение активности каталазы, фермента оксидативного стресса, выявленное в тех же вариантах. В то же время по уровню содержания пероксидазы не выявлено значимых закономерностей.

Выводы

Показано, что добавление в грунт как суспензии культуры фосфатмобилизующих бактерий *B. mycooides* A7– продуцента амилазы и липазы, так и комплексных препаратов на основе акрилового гидрогеля, содержащих эту культуру, оказывает ростостимулирующее действие на модельные растения томатов (*Solanum lycopersicum*, L.). Установлено, что варианты с внесением культуры бактерий и комплексного препарата содержат меньшие концентрации стрессовых факторов, что свидетельствует о нормализации обменных процессов и общего состояния модельных растений. Таким образом, данная культура бактерий представляется перспективной для получения препаратов, нормализующих физиологическое состояние и питание корневой микрофлоры растений, стимулирующих их продуктивность.

Информация о спонсорстве. Исследования влияния бактериального препарата на рост томата в условиях светокультуры выполнены в рамках государственного задания, номер государственной регистрации НИ-ОКТР 122031100058-3. В части получения комплексного препарата на основе гидрогеля и клеток бактерий работа поддержана грантом УМНИК № 18124ГУ/2022.

Список литературы

1. Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Синтез, химические и физико-химические свойства полимеров акриламида. Саратов, 2014. 67 с.
2. Будников В.И., Синкин В.В., Стрельников В.Н. Исследование водосорбционных характеристик наполненных акриловых сополимеров // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. № 8. С. 1284-1287.
3. Данилова Т. Н., Табынбаева Л. К. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 1. С. 76-83.
4. Данилова Т. Н., Аннабаева А. В. Возможности применения полимерных гелей для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. 2020. С. 540-542.
5. Данилова Т. Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы // Агрофизика. 2020. № 3. С. 17.
6. Данилова Т. Н., Хомяков Ю. В., Конончук П. Ю. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104. № 2. С. 97-104.
7. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А., Будников В.И. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2010. № 1. С. 45-49.
8. Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23-42.
9. Мужайло Е. В., Волкова Д. С., Стороженко С. Е. Применение полимеров акриловой и метакриловой кислот в технологии получения мягких лекарственных форм // Лесной и химический комплексы-проблемы и решения. 2022. С. 456-458.
10. Мырзаханова М. Н., Кушкumbaева А. А. Инновационные возможности поддержания почвенного баланса различных сельскохозяйственных культур // Современные научные исследования и разработки. 2016. № 7. С. 451-453.
11. Смагин А.В., Колганихина Г.Б., Васенев В.И., Смагина М.В., Садовникова Н.Б., Будников В.И. Гель-серебряные композиции для ризосферы: лабораторное тестирование антимикробных свойства // Агрехимия. 2018. № 5. С. 25-32.
12. Старовойтова О. А. Влияние водных абсорбентов на урожайность картофеля и содержание влаги в почве // Агроинженерия. 2018. № 2 (84). С. 12-18.
13. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. 1973. Vol. 39. P. 205–207.

14. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review // *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 2020. Vol. 59 (4). P. 341-356.
15. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding // *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248-254.
16. Chance B., Maehly A.C. Assay of catalase and peroxidases // *Methods Enzymol.* 1955. Vol. 2. P. 764-775.
17. Dorkoosh F.A., Brussee J., Verhoef J. C., Borchard G., Rafiee-Tehrani M., Junginger H. E. Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites // *Polymer*. 2000. Vol. 41. № 23. P. 8213-8220.
18. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* 1981. Vol. 22. P. 867-880.
19. Oladosu Y., Rafii, M. Y., Arolo, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Haliru B.S. Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (7). P. 605.
20. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J., Napier R., O'Reilly R.K. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications // *ACS Applied Polymer Materials*. 2021. Vol. 3. P. 1203-1217.
21. Singh N., Agarwal S., Jain A., Khan S. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 253, 106939.
22. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Belyaeva E.A., Krivtsova V.N. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability // *Polymers*. 2022. Vol. 14 (21), 4665.

References

1. Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. *Cintez, khimicheskie i fiziko-khimicheskie svoystva polimerov akrilamida* [Synthesis, chemical and physico-chemical properties of acrylamide polymers]. Saratov, 2014, 67 p.
2. . Budnikov V.I., Sinkin V.V., Strelnikov V.N. A study of water-sorption characteristics of filled acrylic copolymers. *Russian J. Applied Chemistry*, 2010, vol. 83 (8), pp. 1390-1393.
3. Danilova T. N., Tabylnbaeva L. K. Polimernye geli dlya upravle-niya vodoobespechennost'yu pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) v raznykh ekologi-cheskikh usloviyakh [Polymer gels for managing water availability of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different environmental conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2019, vol. 54, no. 1, pp. 76-83.

4. Danilova T. N., Annabaeva A. V. Vozmozhnosti primeneniya poli-mernykh geley dlya povysheniya produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Possibilities of using polymer gels to increase the productivity of agricultural crops]. *Agrarnye landshafty, ikh ustoychivost' i osobennosti razvitiya*, 2020, pp. 540-542.
5. Danilova T. N. Vliyanie polimernykh geley na diapazon dostup-noy vlagi durnovo-podzolistoy pochvy [Influence of polymer gels on the range of available moisture in soddy-podzolic soil]. *Agrofizika*, 2020, no. 3, 17 p.
6. Danilova T. N., Khomyakov Yu. V., Kononchuk P. Yu. Biologicheskaya aktivnost' durnovo-podzolistoy supeschanoy pochvy pri meliorativnom vne-senii gidrogeley [Biological activity of soddy-podzolic sandy loamy soil during ameliorative application of hydrogels]. *Vestnik zashchity rasteniy*, 2021, vol. 104, no. 2, pp. 97-104.
7. Maksimova Yu.G., Maksimov A.Yu., Demakov V.A., Budnikov V.I. Vliyanie gidrogeley poliakrilamida na mikrofloru pochvy [The influence of polyacrylamide hydrogels on soil microflora]. *Bulletin of Perm University. Series: Biology*, 2010, no. 1, pp. 45-49.
8. Maksimova Yu.G., Shchetko V.A., Maksimov A.Yu. Polimernye gid-rogeley v sel'skom khozyaystve (Obzor) [Polymer hydrogels in Agriculture (Review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 23-42.
9. Muzhaylo E. V., Volkova D. S., Storozhenko S. E. Primenenie po-limerov akri-lovoy i metakrilovoy kislot v tekhnologii polucheniya myagkikh lekarstvennykh form [Application of polymers of acrylic and methacrylic acids in the technology of obtaining soft dosage forms]. *Lesnoy i khimicheskiy kompleksy-problemy i reshe-niya*, 2022, pp. 456-458.
10. Myrzakhanova M. N., Kushkumbaeva A. A. Innovatsionnye voz-mozhnosti podderzhaniya pochvennogo balansa razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Innovative opportunities to maintain the soil balance of various agricultural crops]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, 2016, no. 7, pp. 451-453.
11. Smagin A.V., Kolganikhina G.B., Vasenev V.I., Smagina M.V., Sadovnikova N.B., Budnikov V.I. Gel'-serebryanyye kompozitsii dlya rizosfe-ry: laborator-noye testirovaniye antimikrobnnykh svoystva [Gel-silver compositions for the rhizosphere: laboratory testing of antimicrobial properties]. *Agrokhiimiya*, 2018, no. 5, pp. 25-32.
12. Starovoytova O. A. Vliyanie vodnykh absorbentov na urozhay-nost' kartofelya i sodержanie vlagi v pochve [Influence of water absorbents on potato yield and moisture content in soil]. *Agroinzheneriya*, 2018, no. 2 (84), pp. 12-18.

13. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 1973, vol. 39, pp. 205–207.
14. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2020, vol. 59 (4), pp. 341-356.
15. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem*, 1976, vol. 72, pp. 248-254.
16. Chance B., Maehly A.C. Assay of catalase and peroxidases. *Methods Enzymol*, 1955, vol. 2, pp. 764-775.
17. Dorkoosh F.A., Brussee J., Verhoef J. C., Borchard G., Rafiee-Tehrani M., Junginger H. E. Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites. *Polymer*, 2000, vol. 41, no. 23, pp. 8213-8220.
18. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*, 1981, vol. 22, pp. 867-880.
19. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J., Napier R., O'Reilly R.K. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications. *ACS Applied Polymer Materials*, 2021, vol. 3, pp. 1203-1217.
20. Oladosu Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Haliru B.S. Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 2022, vol. 8 (7), pp. 605.
21. Singh N., Agarwal S., Jain A., Khan S. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom. *Agricultural Water Management*, 2021, vol. 253: 106939
22. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Belyaeva E.A., Krivtsova V.N. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability. *Polymers*, 2022, vol. 14 (21): 4665.

ДАнные об авторах

Елисева Анна Дмитриевна, младший научный сотрудник

*Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет
ул. Ленина, 3А, г. Пермь, 614990, Российская Федерация; ул. Букирева, 15, г. Пермь, Российская Федерация
liamrik@list.ru*

Максимов Александр Юрьевич, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник

Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет

ул. Ленина, 3А, г. Пермь, 614990, Российская Федерация; ул. Букирева, 15, г. Пермь, Российская Федерация

almaks1@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna D. Eliseeva, Junior Researcher

Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Perm State National Research University

3А, Lenin Str., Perm, 614990, Russian Federation; 15, Bukirev Str., Perm, Russian Federation

liamrik@list.ru

Alexander Yu. Maksimov, PhD Biol. Sci., Associate Professor, Senior Researcher

Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Perm State National Research University

3А, Lenin Str., Perm, 614990, Russian Federation; 15, Bukirev Str., Perm, Russian Federation

SPIN-code: 2729-0780

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-3351>

ResearcherID: T-8070-2017

Scopus Author ID: 7101760526

almaks1@mail.ru

Поступила 08.09.2023

После рецензирования 10.10.2023

Принята 20.10.2023

Received 08.09.2023

Revised 10.10.2023

Accepted 20.10.2023