

ВЛИЯНИЕ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ СОРБЕНТОВ НА УРОЖАЙ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

Алексей Леонидович Лукин¹
Ольга Борисовна Мараева¹
Вячеслав Алексеевич Кузнецов²
Мария Сергеевна Лавлинская²
Ирина Валерьевна Останкова²
Владимир Федорович Селеменев²
Виктор Николаевич Семенов²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Воронежский государственный университет

Представлены результаты исследований по созданию различных типов сорбционных материалов и их влиянию на урожайность ячменя. В основу полученного авторами сорбента положен принцип создания материалов с введением в макроцепь на стадии синтеза полимеров биodeградируемых звеньев. Гранулы сорбента, содержащие в структуре сетки биodeградируемые фрагменты, были получены при радикальной полимеризации в присутствии окислительно-восстановительной системы. В состав матрицы сорбента были введены гуминовые кислоты, микроорганизмы, микроэлементы. Все типы сорбентов были способны поглощать и удерживать влагу в прикорневой области растений. В лабораторных условиях была установлена длительность воздействия сорбента на поддержание проростков ячменя в жизнеспособном состоянии. Для изучения влияния сорбента на урожайность ячменя в 2015–2017 гг. был заложен и проведен микроделяночный опыт на территории Ботанического сада имени Б.А. Келлера Воронежского госагроуниверситета. В 1-й год количество осадков составило 70% от среднемноголетней нормы, во 2-й год условия оценивались как более благоприятные (около 80% от среднемноголетней нормы), но все же недостаточно благоприятные для выращивания ячменя. Результаты исследований показали, что за счет удерживаемой внутри сорбента и отдаваемой растениям влаги был получен дополнительный урожай ячменя. Применение сорбента в дозе 20 кг/га привело к повышению урожая в 1,9 раза. Максимальный урожай на опытных делянках превышал показатели контрольного варианта более чем в 2,5 раза, что можно объяснить контрастностью режима поступления и содержания влаги в почве. Показатели биологической активности почвы заметно варьировали по вариантам опыта. В частности, активность каталазы повышалась в 1,1–1,5 раза по сравнению с контролем, причем отмечена тенденция роста этого индикатора почвенного плодородия к концу вегетации растений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидрофильный материал со свойствами сорбента, набухание, минеральные добавки, гуминовые кислоты, урожайность ячменя.

THE EFFECT OF BIODEGRADABLE ABSORBENTS ON THE YIELD OF BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

Alexey L. Lukin¹
Olga B. Maraeva¹
Vyacheslav A. Kuznetsov²
Mariya S. Lavlinskaya²
Irina V. Ostankova²
Vladimir F. Selemenev²
Viktor N. Semyonov²

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Voronezh State University

The authors present the results of research on the creation of various types of sorption materials and their effect on the yield of barley. The absorbent obtained by the authors is based on the principle of creating materials by introducing biodegradable units into the macrochain at the stage of synthesis of polymers. The granules of absorbent that contain biodegradable fragments in the grid structure were obtained by radical polymerization in the presence of an oxidation-reduction system. Humic acids, microorganisms, and microelements were introduced into the absorbent matrix. All types of absorbents were able to absorb and retain moisture in the root zone of plants. In the laboratory conditions the authors have established the duration of absorbent exposure for the maintenance of barley seedlings in the viable condition. In order to study the effect of absorbent on the yield of barley a microplot experiment was laid and conducted in 2015–2017 in the territory of the Botanical Garden named after B.A. Keller of Voronezh State

Agrarian University. In the first year the amount of precipitation was 70% of the average annual rate; in the second year the conditions were more favorable (about 80% of the average annual rate), but still insufficient for growing barley. The results of research showed that the moisture retained by the absorbent and delivered to the plants allowed obtaining an additional yield of barley. Applying the absorbent in a dose of 20 kg/ha led to an increase in the yield by 1.9 times. The maximum yield in the experimental plots exceeded the control values by more than 2.5 times, which could be explained by the contrast in the regime of delivery and content of moisture in the soil. The parameters of biological activity of the soil varied significantly between the experimental variants. In particular, the catalase activity increased by 1.1–1.5 times compared to the control, and there was a trend towards the growth of this parameter of soil fertility by the end of vegetation of plants.

KEY WORDS: hydrophilic material with absorbent properties, swelling, mineral additives, humic acids, barley yield.

Введение

Проблема накопления и сохранения влаги в почве является актуальной для получения высоких урожаев сельскохозяйственной продукции в регионах с недостаточным количеством осадков [8, 10], в число которых входит и Центрально-Черноземный регион. Климатические изменения, происходящие на планете в целом и во многих регионах России, демонстрируют увеличение числа засушливых для агротехнологий лет по сравнению с благоприятными.

Растения нуждаются в воде с момента посева семян и до окончания формирования урожая. При этом в разные периоды жизни растения требуют неодинакового количества воды: меньше – в начальный период, больше – в период формирования мощной вегетативной массы и генеративных органов, к концу жизни потребность в воде уменьшается. Период острой потребности растений в воде называется критическим: у зерновых культур он совпадает с фазами выхода в трубку и колошения, у зернобобовых – с фазой цветения. В регионах рискованного земледелия наблюдаются экстремальные периоды, когда недостаток влаги совпадает с критической фазой развития растений, что резко снижает урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур [5].

Решение проблемы обеспечения влагой вегетирующих растений направлено на создание технологий максимального ее сбережения и эффективной подачи растениям. В настоящее время признано, что использование дождевальных агрегатов является низкорентабельным из-за большого расхода воды и связанного с этим изменением физико-химических свойств почвы и др. Применение капельного орошения также повышает себестоимость сельскохозяйственной продукции в силу дороговизны аппаратного оформления процесса.

В этой связи представляется интересным использование экологически безопасных биodeградируемых сорбционных материалов, способных удерживать влагу в прикорневой зоне растений. Это позволяет обеспечивать растение водой и снижать влияние стресса погодных условий в период вегетации.

В Российской Федерации применение сорбционных материалов в агротехнологиях не получило широкомасштабного распространения. В первую очередь это обусловлено длительным сроком их деградации в почве. Загрязнение почв продуктами распада абсорбентов, содержащих полиэтилен, может достигать нескольких сотен лет. В основу полученного нами сорбента положен принцип создания материалов с введением в макроцепь на стадии синтеза полимеров биodeградируемых звеньев. Перспективно использование целого комплекса продуктов переработки доступного растительного и животного сырья, содержащего крахмал, пектин, хитозан и другие полимерные материалы, легко разрушаемые в процессе микробной деградации на воду, углекислый газ и производные азота.

Материалы и методы

Синтез полимерного материала – сорбента со свойствами суперабсорбента (СА) осуществляли согласно известным методам [1]. Путем добавления неорганических и органических веществ в реакционную массу (4 : 1 масс) на последнем этапе полимеризации нами получены модификации полимеров.

ИК-спектры образцов СА получены на ИК-спектрометре с Фурье-преобразователем *Bruker Vertex 70*. Сорбенты, полученные при концентрации сшивающего агента 2%, называют «редкосшитые» (РС), а сорбенты, полученные при концентрации сшивающего агента 10%, – «среднесшитые» (СС).

Для изучения влияния сорбента на урожайность ячменя в 2015–2017 гг. был заложен микроделяночный опыт на территории Ботанического сада имени Б.А. Келлера Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I.

Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным среднесуглинистым с содержанием гумуса в пахотном слое 3,25%, pH_{KCL} 5,53. Содержание подвижных форм фосфора и обменного калия составило соответственно 165 и 94 мг/кг (по Чирикову), сумма поглощенных оснований – 27,3 мг-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности почвы основаниями – 74–86%.

Варианты опыта в пятикратной повторности были размещены по следующей схеме.

1. Контроль – без внесения сорбентов.
2. Уголь активный Аквасорб – 20 кг/га.
3. РС – 20 кг/га.
4. РС – 20 кг/га + микроорганизмы.
5. РС – 20 кг/га + микроэлементы.
6. РС – 200 кг/га.
7. СС – 20 кг/га.
8. СС – 20 кг/га + гуминовые кислоты.
9. СС – 200 кг/га.

В качестве неорганических веществ на матрице исходного полимера были использованы ЭДТА-растворимые формы микроэлементов из известных препаратов в количестве 5 мг/г сорбента (рис. 1). Микроорганизмы промышленно производящихся препаратов брали в количестве 10 г/кг сорбента. Органические кислоты из озерного сапропеля применяли для получения сорбента для варианта № 8 в количестве 10%.

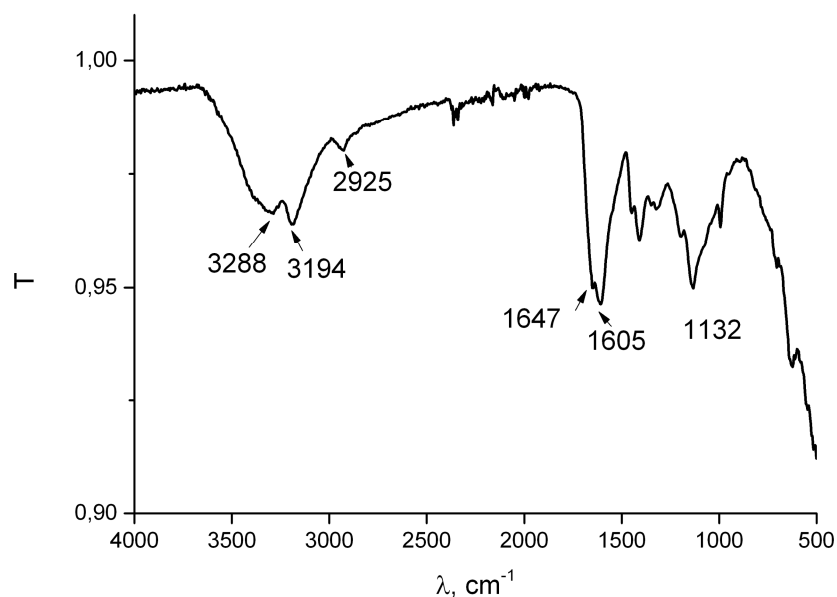


Рис. 1. ИК-спектр исходного полимера

Численность аммонифицирующих микроорганизмов, микробиоты, участвующей в разложении безазотистых соединений почвы, а также ферментативную активность почвы определяли по общепринятым методикам [11].

Результаты и их обсуждение

Разновидности сорбентов со свойствами суперсорбента (СА), содержащие в структуре сетки биodeградируемые фрагменты, были синтезированы в присутствии окислительно-восстановительной системы. Соотношение биodeградируемые компоненты : мономер : сшивающий агент варьировало в следующем интервале, масс. частей: 0,05–0,20 : 0,80–0,98 : 0,01–0,10.

Для создания СА с определенными свойствами на стадии полимеризации в мономерную смесь вводили микроэлементы Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} .

В ИК-спектре исходного полимера без добавок микроэлементов и гуминовых кислот присутствуют полосы поглощения при 1647 и 1605 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям $\text{C}=\text{O}$ -группы (амид I) и NH_2 -группы (амид II) амидных фрагментов [1]. Широкие полосы поглощения при 3180–3300 см^{-1} показывают наличие OH и NH_2 -групп биodeградируемого компонента [2, 6]. В ИК-спектрах образцов СА, содержащих добавки, наблюдается смещение характеристических полос поглощения, что подтверждает взаимодействие и образование ассоциатов функциональными группами макромолекул полимера с добавками, вводимыми в полимеризационную массу. В связи с этим полученные сорбенты могут использоваться не только в качестве «резервуаров» для воды, но и как минеральные или органические удобрения.

Снижение влажности почвы ниже 60–70% от наименьшей полевой влагоемкости (НВ) может негативно повлиять на развитие растений, а при максимальной реализации сортовых особенностей растений, в частности ячменя, необходимо до 900 л воды. Количество влаги на момент посева семян, а также ее объем с осадками в течение вегетации растений составляет в среднем до 400 $\text{м}^3/\text{га}$, что и является существенным лимитирующим урожай фактором.

Полученные разновидности сорбентов по своей природе представляют искусственные «резервуары» для воды, способные удерживать до пятисот ее объемов по сравнению с объемом исходного сорбента. Изучение кинетики набухания образцов СА в воде и растворе хлорида алюминия проводили гравиметрическим методом. Было установлено, что с увеличением плотности сшивки СА способность к набуханию уменьшается (рис. 2). Такое поведение сорбента объясняется стерическими затруднениями при проникновении молекул воды в матрицу полимера. Максимальное набухание достигнуто у варианта с содержанием сшивающего агента в количестве 1%.

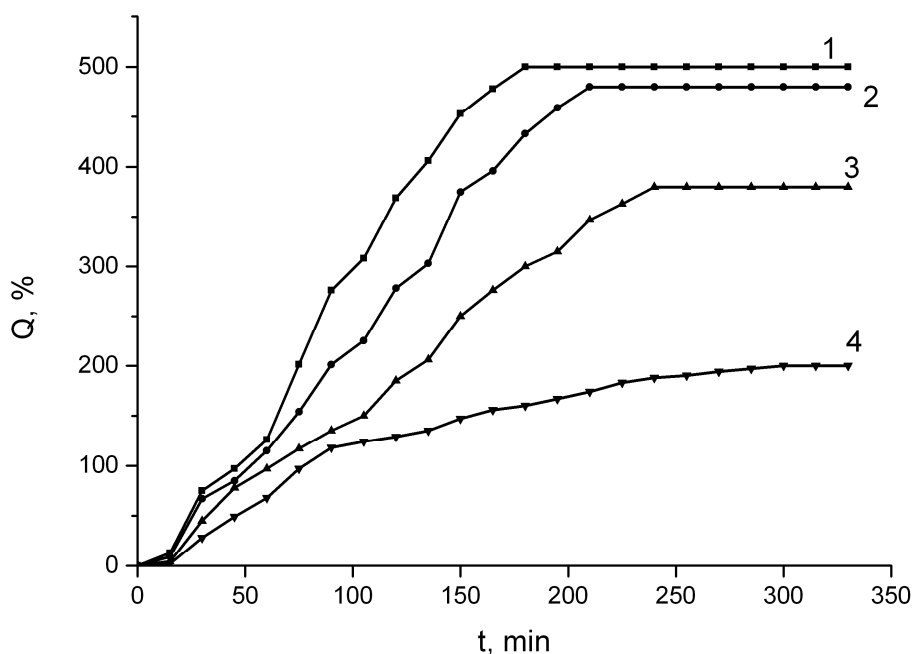


Рис. 2. Кинетика набухания сорбента при различном количестве сшивающего агента, %: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 5; 4 – 10

Как видно из рисунка 3, введение в структуру сорбента микроэлементов и гуминовых кислот также снижает способность полимера к набуханию. Это связано с тем, что происходит сорбция крупных катионов поливалентных металлов, занимающих активные центры полимеризации, что делает их недоступными для молекул воды. При этом эффективность набухания может снижаться на 20–50%.

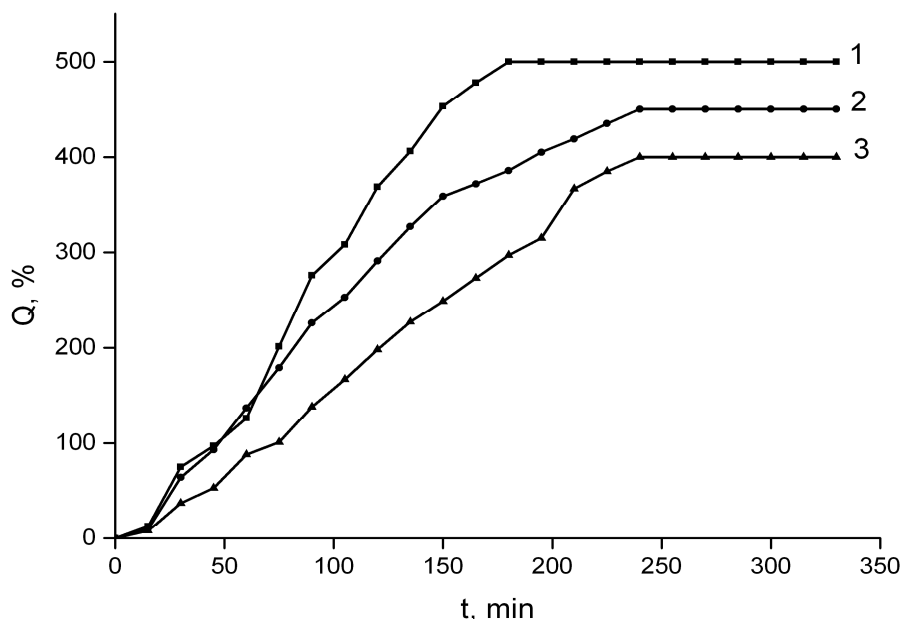


Рис. 3. Кривые сорбции воды полимерами различной природы:
1 – исходный сорбент; 2 – с микроэлементами; 3 – с гуминовыми кислотами

В лабораторных условиях была установлена длительность воздействия сорбента на поддержание проростков ячменя в жизнеспособном состоянии. Сорбент смешивали с песком из расчета 200 кг/га. В этот субстрат помещали семена ячменя с имитацией посева. Полученный таким образом субстрат однократно поливали водой из расчета достижения его полной влагоемкости. При этом субстрат с сорбентом удержал 114% воды по сравнению с контрольным вариантом. На рисунке 4 представлены результаты эксперимента на 21-й день проращивания семян.

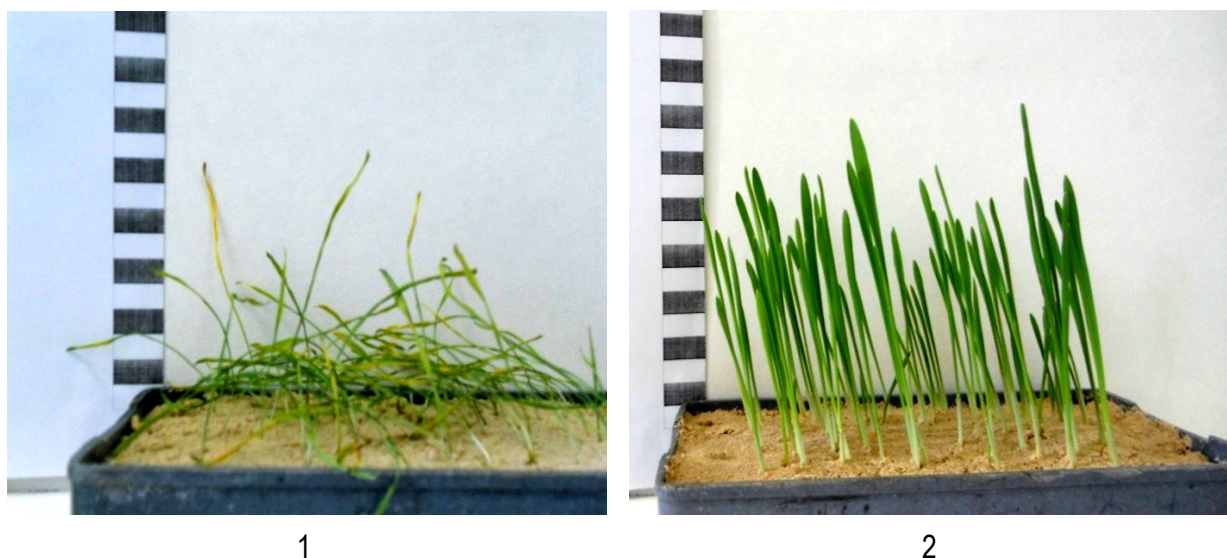


Рис. 4. Влияние сорбента на продолжительность жизни проростков ячменя при однократном поливе (21-й день):
1 – контроль; 2 – сорбент в количестве 200 кг/га

В полевых условиях в 2015–2016 гг. количество осадков составило около 70% от среднегогодушной нормы, что позволило сформировать около 950 т/га продуктивной влаги и получить только 1,1 т/га зерна.

Показатели биологической активности почвы и урожай ячменя (2015–2017 гг.)

Варианты	До посева				Фазы развития ячменя												Урожай, т/га
					кушение				трубкование				уборка				
	МПА	КАА	КАА / МПА	Каталаза	МПА	КАА	КАА / МПА	Каталаза	МПА	КАА	КАА / МПА	Каталаза					
1	13,0	7,0	0,5	1,1	9,0	11,0	1,2	1,5	7,0	5,0	0,7	3,3	7,0	11,0	1,6	3,3	2,1
2	29,0	35,0	1,2	1,2	14,0	17,0	1,2	1,4	19,0	21,0	1,1	3,6	19,0	25,0	1,3	3,8	3,8
3	15,0	17,0	1,1	1,1	10,0	13,0	1,3	1,8	10,0	19,0	1,9	3,7	14,0	17,0	1,2	3,6	2,8
4	25,0	30,0	1,2	1,1	21,0	31,0	1,4	1,5	27,0	28,0	1,0	3,3	15,0	19,0	1,3	3,8	3,6
5	13,0	10,0	0,8	1,2	15,0	19,0	1,3	1,6	18,0	7,0	0,4	3,8	17,0	21,0	1,2	4,1	2,8
6	16,0	19,0	1,2	1,1	16,0	17,0	1,1	1,5	20,0	29,0	1,4	3,7	11,0	13,0	1,2	3,5	2,5
7	18,0	20,0	1,1	1,2	19,0	16,0	0,8	1,5	17,0	16,0	0,9	4,3	11,0	15,0	1,4	3,8	3,4
8	27,0	31,0	1,1	1,1	18,0	11,0	0,6	1,5	15,0	19,0	1,3	3,8	19,0	14,0	0,7	3,5	3,8
9	21,0	25,0	1,2	1,2	19,0	28,0	1,5	1,7	28,0	33,0	1,2	4,2	25,0	23,0	0,9	3,8	3,1
НСР 0,05 = 0,34 т/га																	

Примечание. Каталаза – мл 0,1М КМnO₄ на 1 г почвы за 20 мин.

Погодные условия вегетационного периода 2016–2017 гг. оценивались как более благоприятные, но все же недостаточные для выращивания ячменя. Количество осадков за вегетационный период составило около 80% от среднегодовой нормы, что привело к формированию около 2300 т/га продуктивного запаса влаги и обеспечило урожай ячменя около 3 т/га.

Биологическая активность почвы характеризуется рядом показателей [3, 4]. Одними из них является численность некоторых групп микроорганизмов и их влияние на процесс минерализации органического вещества почвы, что является важным индикатором плодородия. В задачи исследований входило определение численности аммонифицирующих микроорганизмов, микробиоты, участвующей в разложении безазотистых соединений почвы, а также установление активности фермента каталазы, характеризующего уровень общей биологической активности почвы.

Показатели биологической активности почвы заметно варьировали по вариантам опыта (см. табл.). В частности, активность каталазы в каждой фазе развития на всех вариантах повышалась и к фазе уборки достигала своего максимального значения, что согласуется с ранее полученными данными [9].

На вариантах внесения сорбентов численность аммонифицирующих бактерий и бактерий, использующих минеральные формы азота, возрастала. В фазе кущения и трубкования высокая численность обеих групп микроорганизмов была отмечена на варианте № 4. В почву варианта № 8 с сорбентом были внесены гуминовые вещества. Они увеличивают поглощательную способность почвы, способствуют накоплению элементов почвенного плодородия и образованию водопрочной структуры [7].

Представленные данные демонстрируют положительный эффект воздействия сорбента, насыщенного гуминовыми кислотами, на численность аммонифицирующих бактерий. На всех этапах развития ячменя численность этой группы бактерий на варианте № 8 в 2 раза превосходила их количество на контрольном варианте.

Выводы

Доказано, что сорбенты с разной степенью прочности полимеров способны удерживать различное количество воды. Полученные сорбенты представляют собой полимерную структуру, способную к удержанию влаги. Максимально этот показатель составил 500 мл/г ($Q = 500\%$). Данные показали, что за счет удерживаемой внутри сорбента и отдаваемой растениям влаги удалось сформировать дополнительный урожай ячменя.

Применение сорбента в дозе 20 кг/га привело к повышению урожая в 1,9 раза. Максимальный урожай на опытных делянках превышал показатели контрольного варианта более чем в 2,5 раза, что можно объяснить контрастностью режима поступления и содержания влаги в почве.

Показатели биологической активности почвы заметно повышались на опытных делянках. В частности, активность каталазы повышалась в 1,1–1,5 раза по сравнению с контролем, причем отмечена тенденция роста этого индикатора почвенного плодородия к концу вегетации растений.

Библиографический список

1. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Беллами ; пер. с англ. под ред. Ю.А. Пентина. – Москва : Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 592 с.
2. Влагопоглощающая способность редкосшитого полимерного материала со свойствами супер-абсорбента / В.А. Кузнецов, М.С. Лавлинская, И.В. Останкова, В.Ф. Селеменев, В.Н. Семенов, А.Л. Лукин // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 484-489.
3. Емцев В.Т. Микробиология : учеб. пособие / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – Москва : Дрофа, 2006. – 444 с.
4. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – Москва : Изд-во Московского государственного ун-та, 1987. – 256 с.
5. Кадыров С.В. Технологии программированных урожаев в ЦЧР : справочник / С.В. Кадыров, В.А. Федотов. – Воронеж : ФГУП Издательско-полиграфическая фирма «Воронеж», 2005. – 544 с.

6. Пат. 2574722 Российская Федерация. МПК C08F 220/56, C08L 3/02, C08L 1/08, C08L 5/08, A61L 15/28, A61L 15/60 (2006.01). Способ получения гидрофильного сшитого полимера со свойствами суперабсорбента / Кузнецов В.А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ВГУ. – № 2014149668/04; заявл. 09.12.2014; опублик. 10.02.2016, Бюл. № 4. – 4 с.
7. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А.И. Попов. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. – 248 с.
8. Роде А.А. Избранные труды. Т. 3. Основы учения о почвенной влаге / А.А. Роде. – Москва : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. – 664 с.
9. Селявкин С.Н. Биохимические и микробиологические показатели биологической активности почвы / С.Н. Селявкин, О.Б. Мараева, А.Л. Лукин // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов : сб. науч. работ. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного ун-та, 2015. – Вып. 17. – С. 185–188.
10. Уланова Е.С. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур / Е.С. Уланова, А.И. Страшная // Проблемы мониторинга засух : науч. труды ВНИИ с.-х. метеорологии. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2000. – Вып. 3. – С. 64–83.
11. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев. – Москва : Наука, 1976. – 179 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Алексей Леонидович Лукин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой биологии и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: Loukine@mail.ru.

Ольга Борисовна Мараева – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: maraevaolga@mail.ru.

Вячеслав Алексеевич Кузнецов – доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой высокомолекулярных соединений и коллоидов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: dr.v.kuznetsov@gmail.com.

Мария Сергеевна Лавлинская – кандидат химических наук, инженер кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: maria.lavlinskaya@gmail.com.

Ирина Валерьевна Останкова – инженер кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: common@chem.vsu.ru.

Владимир Федорович Селеменев – доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой общей и неорганической химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: common@chem.vsu.ru.

Виктор Николаевич Семенов – доктор химических наук, профессор, декан химического факультета, зав. кафедрой аналитической химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: common@chem.vsu.ru.

Дата поступления в редакцию 20.03.2018

Дата принятия к печати 20.04.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexey L. Lukin – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Biology and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8 (473) 253-76-93 (1324), e-mail: Loukine@mail.ru.

Olga B. Maraeva – Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Biology and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8 (473) 253-76-93 (1324), e-mail: maraevaolga@mail.ru.

Vyacheslav A. Kuznetsov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Dept. of High Molecular Compounds and Colloids, Voronezh State University, Russian Federation, Voronezh, e-mail: dr.v.kuznetsov@gmail.com.

Mariya S. Lavlinskaya – Candidate of Chemical Sciences, Engineer, the Dept. of High Molecular Compounds and Colloids, Voronezh State University, Russian Federation, Voronezh, e-mail: maria.lavlinskaya@gmail.com.

Irina V. Ostankova – Engineer, the Dept. of High Molecular Compounds and Colloids, Voronezh State University, Russian Federation, Voronezh, e-mail: common@chem.vsu.ru.

Vladimir F. Selemenov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Dept. of General and Inorganic Chemistry, Voronezh State University, Russian Federation, Voronezh, e-mail: common@chem.vsu.ru.

Viktor N. Semyonov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Chemistry, Head of the Dept. of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Russian Federation, Voronezh, e-mail: dean@chem.vsu.ru.

Received March 20, 2018

Accepted April 20, 2018