

УДК 662.73; 547.992.2; 631.811.98

ЗАВИСИМОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ БУРЫХ УГЛЕЙ ОТ СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

© 2021 г. С. И. Жеребцов^{1,*}, Н. В. Малышенко^{1,**}, К. С. Вотопин^{1,***},
К. М. Шпакодраев^{1,****}, З. Р. Исмагилов^{1,*****}, Д. А. Соколов^{2,*****},
В. А. Андроханов^{2,*****}

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, 650000 Кемерово, Россия

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090 Новосибирск, Россия

*e-mail: sizh@yandex.ru

**e-mail: profkemsc@yandex.ru

***e-mail: kostvot@mail.ru

****e-mail: shpakodraevrm@mail.ru

*****e-mail: zinfer@mail.ru

*****e-mail: sokolovdenis@mail.ru

*****e-mail: androhan@rambler.ru

Поступила в редакцию 17.02.2021 г.

После доработки 11.03.2021 г.

Принята к публикации 06.04.2021 г.

На основе гуминовых кислот, выделенных из бурого угля Тисульского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна, получены образцы гуминовых препаратов (ГП), содержащие макро- и микроэлементы питания растений. Проведено тестирование биологической активности гуминовых препаратов в лабораторных и полевых условиях с использованием семян сортовой пшеницы “Ирень” и “Новосибирская 89”. Проведена сравнительная оценка влияния содержания различных элементов в ГП на ростовые показатели и урожайность злаковых культур. Для более эффективного использования гуминовых препаратов необходимо учитывать эдафические свойства почвенных субстратов.

Ключевые слова: гуминовые препараты, биологическая активность, индекс фитоактивности

DOI: 10.31857/S0023117721040113

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время повышение урожайности и качества сельхозпродукции невозможно без применения передовых технологий, в том числе и применения биологически активных субстанций. В последнее время возрос интерес к применению гуминовых кислот (ГК) и препаратов на их основе в сельском хозяйстве в качестве стимуляторов роста растений. При использовании гуматов в сельском хозяйстве увеличивается урожайность зерновых, кормовых и овощных структур в среднем на 10–30%; повышаются всхожесть семян и их прорастание; улучшается обмен веществ у растений, усиливается корнеобразование. Способность гуминовых веществ (ГВ) стимулировать рост растений подтверждена многими исследованиями, проводимыми с использованием множества видов растений, культивируемых в различных условиях [1]. Это благотворное влияние ГВ

на развитие растений отражается как на росте корней, росте проростков, так и на урожайности. Однако механизмы, ответственные за это действие гуминовых веществ, известны лишь частично и плохо систематизированы. Имеется точка зрения, что механизм влияния ГВ на рост корней и рост проростков различен [2]. Структура ГВ, наличие ароматических и алифатических доменов, в составе которых O-, N- и S-содержащие функциональные группы, подвижность, а также ароматичность, гидрофобность, могут влиять на активность ферментов, стимуляцию роста корней, увеличение биомассы. Фрагменты ГВ с большей лабильностью могут достигать поверхности корней и взаимодействовать с клеточной мембраной, регулировать клеточный метаболизм и повышать активность ферментов гликолиза [2, 3]. ГК оказывают влияние на ферментативную деятельность растительной клетки, усиливают фотохи-

мические процессы, транспорт электронов, фосфорилирование [1, 4]. При этом увеличивается проницаемость клеточной мембраны, что облегчает проникновение питательных веществ и микроэлементов внутрь клетки и ускоряет дыхание растений. Поступление ГК в растворенном состоянии в растительную клетку сопровождается усилением окислительно-восстановительных реакций согласно теории Баха–Паладина–Сент-Дьерди: бианион гидрохинона \leftrightarrow анион радикал \leftrightarrow \leftrightarrow бензохинон. Наличие свободных радикалов способствует повышению запаса энергии и активности ферментативной системы в растительной клетке, повышая ее общий метаболизм. Гуминовые кислоты проникают как в отдельные органы растений, так и в клеточные органеллы: хлоропласты, митохондрии и ядра. ГК положительно влияют на ускорение синтеза РНК, ускоряют синтез белка в целом. После применения ГВ в листьях растений обнаружено повышенное содержание аминокислот (глутамат, аспарат, серин, глицин, метионин) [5]. Был исследован ряд гуминовых веществ, полученных из различных источников. Биологическая активность была оценена по изменению в строении корня и “активации протонного насоса” на примере томата и кукурузы. Предполагается, что гидрофобный домен гуминового вещества заключает внутри себя биологически активные молекулы, подобные ауксином, способствующие росту корней [6]. Однако в работе [4] сделан вывод, что гидрофобный домен ГВ, состоящий из ароматических и амидных функциональных групп, действует подобно гиббулелловой кислоте, т.е. в качестве гормона роста, а наличие карбоксильных групп является показателем биодоступности ауксиноподобных молекул.

Таким образом, в настоящее время существует несколько точек зрения на механизм стимулирующего действия гуминовых веществ на растения. Можно предположить, стимулирующее действие ГВ на растения является результатом одновременно протекающих многих биологических и химических процессов, которые зависят в первую очередь от свойств ГВ, химических и биологических свойств почвы и самих растений.

Биологическую активность гуминовых препаратов можно усилить внедрением в гуматы макро- и микроэлементов питания растений [7].

Цель данной работы – исследовать биологическую активность комплексных гуминовых препаратов на основе нативных (Гум Na) и модифицированных пероксидом водорода гуминовых кислот, а также содержащих макро- и микроэлементы.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для исследования были выбраны гуминовые кислоты из гумусовых бурых углей Тисульского

месторождения Канско-Ачинского бассейна. Приготовление гуматов осуществлялось посредством щелочной экстракции 1%-ным раствором NaOH по стандартной методике [8]. Модифицирование пероксидом водорода проводилось следующим образом: в стеклянный стакан с 150 мл полученного нативного гумата натрия (3.5%) добавляли 50 мл дистиллированной воды. При постоянном перемешивании на магнитной мешалке из бюретки медленно по каплям добавляли 10 мл H_2O_2 (32%). После добавления последней капли пероксида водорода перемешивание продолжали еще в течение 10 мин.

Были проведены тесты по определению биологической активности гуминовых кислот в виде исходных гуматов натрия различной концентрации и гуматов с добавлением различных макро- и микроэлементов. С учетом типа почвы, вида растительной культуры, содержания элементов в растениях для повышения урожайности в работе [7] были предложены формы и дозы удобрений, содержащие различные макро- и микроэлементы. Для проведения экспериментов были приготовлены водные растворы модифицированных пероксидом водорода гуматов натрия [9] (ГП 1) и гуматов, содержащих макро- и микроэлементы (ГП 2) и (ГП 3), кобальт (ГП 4), марганец (ГП 5) в соответствии с табл. 1. Для приготовления препаратов использовали карбамид $(NH_2)_2CO$, сульфат калия K_2SO_4 , селитру кальцевую $Ca(NO_3)_2$, натрий метоборат $Na_2BO_4 \cdot 4H_2O$, аммоний молибденовокислый $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, сульфат марганца $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, нитрат меди $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, нитрат кобальта $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и нитрат цинка $Zn(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$. Навески веществ, добавляемых к раствору гуматов, рассчитывали из общего процентного содержания действующих компонентов (табл. 1).

Эксперименты проводили по методикам [10, 11] в соответствии с ГОСТ 12038-84 и ГОСТ Р 54221-2010 [12, 13]. Испытания проводили в лабораторных и полевых условиях.

Оценку биологической активности проводили методом фитотестирования, для которого были выбраны растения семейства злаковых, поскольку именно их используют для закрепления (задержания) поверхности почв в борьбе с опустыниванием. Для этого были взяты семена яровой пшеницы сорта “Новосибирская 89” и “Ирень”. Выбор посева пшеницы был обоснован тем, что пшеница является широко распространенной однопольной сельскохозяйственной культурой, изучение которой позволяет получить количественные и качественные данные по результатам возделывания.

Биологическую активность оценивали по индексу фитоактивности (ИФ) с учетом энергии прорастания семян (ЭП), длины корня – показателя

теля, отражающего отзывчивость растения по отношению к содержанию биогенных элементов (ДК) и высоты проростка – показателя, позволяющего оценивать фитогормональное действие препарата (ВП). Опыты троекратно повторяли. Величина ИФ – обобщающий индекс, отражает отклонения величины тест-функции от контроля и вычисляется как

$$\text{ИФ} = \frac{(\text{ЭП} + \text{ДК} + \text{ВП})}{300},$$

где ЭП, ДК и ВП – средние величины, % к контролю [10]. Одновременно в качестве контроля семена пшеницы замачивали в дистиллированной воде в тех же условиях. В части опытов дополнительно замеряли количество корней (КК).

Все партии семян предварительно проверяли на всхожесть. Для опытов отбирали партии со всхожестью семян не менее 90%. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом определения коэффициента ранговой корреляции Спирмена при помощи пакета программ *Microsoft Office Excel, PAST V2.17*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторные исследования. Поскольку концентрированный раствор гуминовых кислот может негативно влиять на рост и развитие растений, его концентрацию разбавляли до 0.02%. Величина рН растворов составляла 6.5–8.2 и находилась в допустимых пределах для использованной культуры. При этом перед опытами семена помещали в сосуды (чашки Петри) по 20 штук, заливали тестируемыми растворами ГП или водой (в случае с контролем). На дно сосудов предварительно выкладывали диски из фильтровальной бумаги. Растворы препаратов в сосуды вносились с тем расчетом, чтобы жидкость полностью перекрывала семена, но не более чем на 3 мм. После этого сосуды переносили в термостат ($t = 26^\circ\text{C}$), где они находились в темноте 72 ч.

Результаты лабораторных испытаний показали, что все оцениваемые препараты оказывают положительное влияние на энергию прорастания семян пшеницы (табл. 2). При этом максимальной биологической активностью по отношению к этому показателю обладают гуминовые препараты с добавлением кобальта (ГП 4) и марганца (ГП 5). Эти препараты также показали максимальный положительный эффект на длину корней. Отрицательный эффект на длину корней был получен с применением препарата (ГП 3), на высоту проростков – с применением препарата (ГП 2).

Расчет и статистическая обработка значений интегрального индекса фитоактивности (рис. 1) показали, что ряд эффективности препаратов выстраивается следующим образом: ГП 4 > ГП 5 > ГП 1 > ГП 3 > ГП 2. Максимальную биологиче-

Таблица 1. Приготовление исходных растворов гуминовых препаратов

Содержание компонента, %	ГП 1	ГП 2	ГП 3	ГП 4	ГП 5
ГумNa	2.05	2.32	2.42	2.74	2.74
H ₂ O ₂	1.5	–	–	–	–
N	–	3.375	3.69	–	–
P ₂ O ₅	–	0.38	–	–	–
K ₂ O	–	3.57	1.69	–	–
CaO	–	0.38	–	–	–
S	–	–	0.64	–	–
B	–	0.025	0.025	–	–
Mo	–	0.046	0.044	–	–
Mn	–	0.0375	0.0375	–	0.0375
Co	–	0.021	0.02	0.02	–
Zn	–	0.006	0.006	–	–
Cu	–	0.006	0.006	–	–

Таблица 2. Величины тест-функций фитоактивности гуминовых препаратов, % к контролю

Препарат	ЭП	ДК	ВП	ИФ
ГП 1	108.3	121.6	102.9	1.11
ГП 2	105.1	104.4	93.6	1.01
ГП 3	120.6	98.9	104.5	1.08
ГП 4	141.5	132.2	110.0	1.28
ГП 5	127.5	132.0	97.1	1.19

скую активность проявляют препараты, в растворе которых не присутствуют биогенные элементы. Несколько выше контрольных значения варианта с добавлением H₂O₂ (ГП 1), что, вероятно, связано с окислением пероксидом водорода алифатических фрагментов гуминовых кислот, отвечающих за их биологическую активность. Минимальные значения индекса фитоактивности свойственны препаратам ГП 2 и ГП 3, обогащенным как макро-, так и микроэлементами. Доступность биогенных элементов, с одной стороны, не стимулирует развитие корневых систем растений, а с другой – в препаратах, содержащих кальций (ГП 2), способствует нейтрализации действия гуминовых кислот [14].

Для установления зависимости ИФ от концентрации из исходных растворов готовили 0.0005, 0.005 и 0.01%-ные (по гумату натрия) растворы гуминовых препаратов. При этом содержание всех макро- и микроэлементов изменялось пропорционально разбавлению. В данном эксперименте семена пшеницы “Ирень” замачивали в растиль-

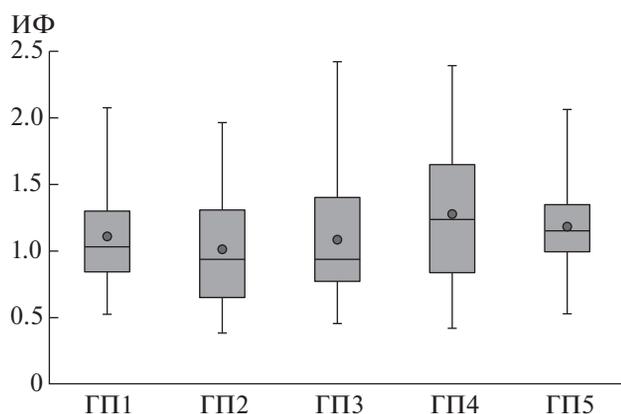


Рис. 1. Распределение значений интегрального индекса фитоактивности.

нях-лотках по 50 штук. Полученные данные фитотестирования приведены в табл. 3.

Сравнивая данные табл. 2 и 3, можно сделать вывод, что использование препарата ГП 2 концентрации 0.02 и 0.01% практически не различаются между собой и близки к контролю. Кроме того, в обоих случаях препарат оказывает угнетающее действие на высоту проростков, а при концентрации 0.01% — еще и на длину корня. Максимально положительное влияние на прорастание семян проявляет препарат ГП 2 при минимальной концентрации (0.0005%). Прирост длины корня и высоты проростков составляет 17 и 11% к контролю. Значения ИФ превышают контроль на 11.2%. Возможно, при снижении содержания СаО снижается степень нейтрализации действия гуминовых кислот.

Максимально положительное влияние препаратов ГП 4 и ГП 5 проявилось при концентрации 0.005% по гумату натрия (ИФ = 1.22 и 1.24 соответственно). Высота проростков при использова-

Таблица 3. Влияние концентрации гуминовых препаратов на индекс фитоактивности

Препарат	Концентрация по гумату, %	ВП	ДК	ЭП	КК	ИФ
		% к контролю				
ГП 2	0.0005	111	117	107	106	1.12
ГП 2	0.005	103	117	107	106	1.08
ГП 2	0.01	99	99	104	103	1.01
ГП 4	0.0005	108	104	106	103	1.06
ГП 4	0.005	153	114	98.7	104	1.22
ГП 4	0.01	109	107	92.6	106	1.03
ГП 5	0.0005	116	97	103	105	1.05
ГП 5	0.005	152	118	103	103	1.24
ГП 5	0.01	102	113	100	108	1.05

нии этих препаратов превысила контроль на 52 и 53%.

Поскольку в предыдущих опытах было показано, что гуминовые препараты, содержащие кобальт и марганец, проявляют максимальную биологическую активность, для проведения дальнейших экспериментов были приготовлены растворы гумата натрия (0.005%), содержащие катионы кобальта и марганца, концентрация которых варьировалась от 0.001 до 0.1%. Результаты экспериментов, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о положительном влиянии гумата натрия на ростовые показатели семян пшеницы (ИФ превышает контроль на 39%). Максимальную биологическую активность проявляют препараты, содержащие марганец и кобальт концентрации 0.001% (ИФ 1.5 и 1.49 соответственно). Эти препараты положительно сказываются на всех тест-функциях, которые превышают контроль более чем на 50%. Повышение концентрации марганца и кобальта приводит к снижению значений ИФ. Самые низкие показатели наблюдаются в экспериментах при использовании препаратов с содержанием кобальта 0.05 и 0.1%. При этом длина корня и высота проростков ниже, чем в контрольных опытах с водой. Следует отметить, что препараты, содержащие кобальт, оказывают влияние на повышение количества корней проростков, в то время как при использовании марганца наблюдается образование боковых корней. Применение препаратов на основе гумата натрия и содержащих катионы кобальта и марганца способствует развитию корневой системы растений, что является важным фактором для укрепления структуры почвы.

Полевые опыты. Полевые испытания гуминовых препаратов выполняли в двух вариантах: при предпосевной обработке семян и при поливе всходов (0.02% по гумату натрия). Исследования проводили на участках техногенных ландшафтов, отвалов угольного разреза “Заречный” АО “СУЭК-Кузбасс”. Выбор участков для полевых экспериментов определялся исходя из тех свойств, которые соответствуют аридным экстраконтинентальным районам Монголии, поэтому при закладке экспериментальных площадок были выбраны субстраты, представленные техногенным элювием плотных углевмещающих пород, аналогичных каменистым почвам Монголии, а также лессовидные карбонатные суглинки — рыхлые осадочные породы, выступающие в качестве модели суглинистых и глинистых почв аридных областей. Использование этих субстратов благодаря незначительному содержанию в них углерода органических веществ (до 3%) позволяет более достоверно оценить эффект от действия гуминовых препаратов.

Таблица 4. Величины тест-функций фитоактивности гуминовых препаратов

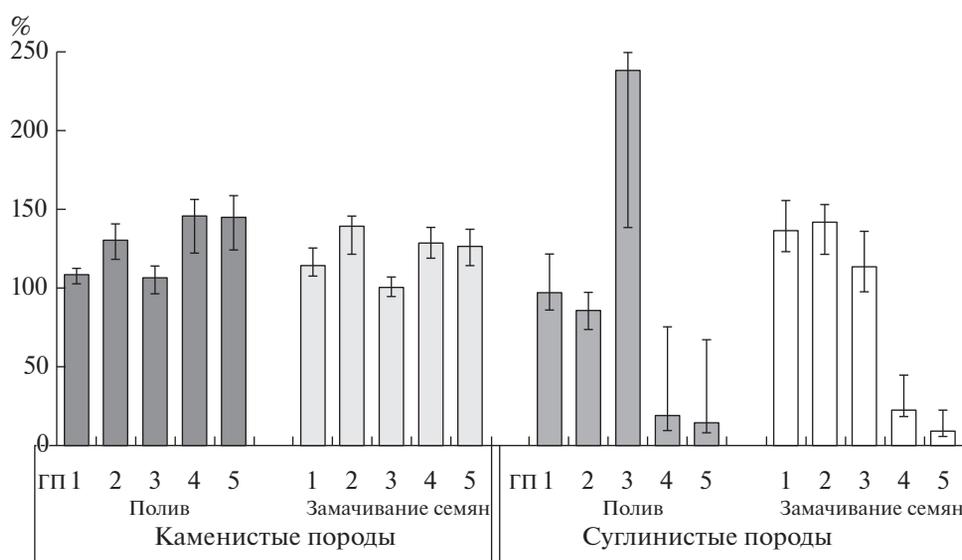
Препарат	ДК	ВП	ЭП	КК	ИФ
	% к контролю				
ГумNa (0.005%)	165	148	105	105	1.39
ГумNa (0.005%) + Mn ²⁺ (0.001%)	186	149	113	106	1.49
ГумNa (0.005%) + Mn ²⁺ (0.01%)	184	142	108	103	1.45
ГумNa (0.005%) + Mn ²⁺ (0.05%)	151	162	103	102	1.39
ГумNa (0.005%) + Mn ²⁺ (0.1%)	126	127	100	103	1.18
ГумNa (0.005%) + Co ²⁺ (0.001%)	178	166	108	110	1.50
ГумNa (0.005%) + Co ²⁺ (0.01%)	162	155	72	106	1.30
ГумNa (0.005%) + Co ²⁺ (0.05%)	79	122	100	101	1.01
ГумNa (0.005%) + Co ²⁺ (0.1%)	28	73	100	104	0.67

В вариантах с обработкой семян их замачивали в растворах препаратов в течение 1 сут, а затем высевали. В вариантах с обработкой всходов полив производили через 2 нед после посева. Опыт закладывали в 5-кратной повторности на делянках площадью 2 м². В качестве контрольных вариантов вместо растворов гуматов использовали дистиллированную воду в тех же объемах, как и в вариантах с препаратами. Во всех вариантах результирующее действие гуминовых препаратов оценивали по их влиянию на урожайность злаковых растений, которую определяли в конце вегетационного периода по величине сухой фитомассы. В качестве культуры была выбрана яровая пшеница сорта "Новосибирская 89".

Результаты полевых испытаний показали, что влияние гуматов на значение фитомассы злако-

вых растений проявляется неодинаково и находится в зависимости от эдафических свойств (физических и химических свойств субстратов участков). Благодаря этому урожайность сухой фитомассы на участках полевого опыта была низкой и составила от 2 до 8 ц/га. В то же время по отношению к контрольным вариантам, в которых вместо гуматов использовалась дистиллированная вода, влияние препаратов в ряде вариантов оказало положительное действие (рис. 2).

Наиболее выраженный эффект гуминовые препараты проявили на субстратах, представленных каменистыми породами. Следует отметить, что в условиях дефицитного увлажнения, свойственных этим породам, одними из наиболее эффективных гуматов оказались ГП 4 и ГП 5, содержащие кобальт и марганец соответственно. Прак-

**Рис. 2.** Урожайность фитомассы пшеницы на площадках рекультивации по отношению к контролю.

тически на этом же уровне эффективности проявилось действие ГП 2, что, по всей видимости, помимо влияния Со и Мп, обусловлено также наличием в растворах макроэлементов, сбалансированных по составу (включающих азот, фосфор, калий и кальций). В случае с ГП 3, также обогащенным Со, Мп, N и К, но без Р и Са, влияние препарата оказалось минимальным и ниже, чем эффект от действия ГП 1, т.е. гумата, модифицированного пероксидом водорода.

В целом влияние гуминовых препаратов на значения фитомассы пшеницы, выращенной на каменистых породах, было аналогичными как для вариантов с замачиванием семян, так и для площадок, где внесение препаратов осуществлялось с поливом.

На опытных площадках, сложенных суглинистыми породами, действие гуматов проявилось неодинаково. В условиях большего увлажнения отрицательный эффект от действия гуминовых препаратов был зафиксирован при использовании ГП 4 и ГП 5 (рис. 2). Также отрицательная, но менее выраженная, результативность от применения ГП 1 и ГП 2 была отмечена в вариантах с поливом. В то же время максимальное положительное влияние на фитомассу пшеницы оказал ГП 3. Очевидно, что отмечаемый эффект связан с присутствием серы в данной модификации, а также наиболее высоким содержанием азота (табл. 1), поскольку отсутствие фосфора и калия в препарате компенсируется их наличием в субстратах деленок. В вариантах при замачивании семян эффект от действия ГП 3 был ниже такового от применения ГП 1 и ГП 2, тем не менее, значения урожайности в данном случае превысили контрольные в среднем на 13%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что гуматы, содержащие макро- и микроэлементы, по-разному влияют на ростовые показатели злаковых растений. Лабораторные испытания позволили выявить, что биологическая активность зависит от концентрации используемых препаратов и концентрации присутствующих макро- и микроэлементов. Максимальную биологическую активность проявляют препараты (0.005% по гумату), содержащие кобальт и марганец (0.001%). Минимальную биологическую активность проявляют препараты, в растворе которых присутствуют биогенные элементы, особенно кальций, нейтрализующий действие гуминовых кислот. Полевые испытания показали, что выбор модификаций гуминовых препаратов, используемых в борьбе против опустынивания, должен осуществляться с учетом эдафических и климатических условий территории их применения. При этом наибольший эффект от использо-

вания растворов гуминовых препаратов проявляется на каменистых почвах, испытывающих острый дефицит увлажнения, где практически все исследуемые препараты оказывают положительное действие.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-55-91033) и в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект 121031500124-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Olaetxea M., De Hita D., Garcia C.A., Fuentes M., Baignori R., Mora V., Garnica M., Urrutia O., Erro J., Zamarreño A.M., Berbara R., García-Mina J.M.* // Appl. Soil Ecology. 2018. V. 123. P. 521.
2. *Garcia A.C., Van Tol De Castro T.A., Santos L.A., Carlos O., Tavares H., Castro R.N., Berbara R. Luiz L., Garcia-Mina J.M.* // J. Environmental Quality. 2019. V. 48. № 6. P. 1622.
3. *Zandonadi D.B., Matos C.R., Castro R.N., Spaccini R., Olivares F.L., Canellas L.P.* // Chem. Biolog. Technol. Agriculture. 2019. V. 6. № 1. P. 23.
4. *Conselvan G.D., Pizzeghello D., Francioso O., Foggia M.D., Nardi S., Carletti P.* // Plant and Soil 2017. V. 420. P. 119.
5. *Calvo P., Nelson L., Klopper J.W.* // Plant Soil. 2014. V. 383. P. 3.
6. *Dobbs L.B., Canallas L.P., Olivares F.L., Aguiar N., Peres L.E.P., Azevedo M.D.S., Spaccini R., Piccolo A., Façanha A.R.* // Agriculture and Food Chem. 2010. V. 58. P. 3681.
7. *Пейве Я.В.* Руководство по применению микроудобрений. М.: Сельхозиздат, 1963. 224 с.
8. *Тайц Е.М., Андреева И.А.* Методы анализа и испытания углей. М.: Недра, 1983. 301 с.
9. *Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вологин К.С., Шпакодраев К.М., Исмаилов З.Р.* // ХТТ. 2020. № 4. С. 3. [Solid Fuel Chemistry, 2020. V. 54. № 4. P. 191].
<https://doi.org/10.3103/S0361521920040096>
<https://doi.org/10.31857/S002311772004009X>
10. *Воронина Л.П., Якименко О.С., Терехова В.А.* // Агротехника. 2012. № 6. С. 50.
11. *Вавилов П.П., Гриценко В.В., Кузнецов В.С.* Практикум по растениеводству. М.: Колос, 1983. 352 с.
12. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1984. 30 с.
13. ГОСТ Р 54221-2010. Гуминовые препараты из бурых и окисленных каменных углей. Методы испытания. М.: Стандартинформ, 2012. 10 с.
14. *Понаморева В.В., Плотникова Т.А.* Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Ленинград: Наука, 1980. 222 с.