

С. Ю. Огородникова

**ЭФФЕКТЫ ЛИГНОГУМАТА НА
ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ
СОЕДИНЕНИЙ (МОДЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ)**

S. Yu. Ogorodnikova

**EFFECTS OF LIGNOHUMATE ON THE
PHYTOTOXICITY OF PHOSPHORUS-CONTAINING
COMPOUNDS (MODEL EXPERIMENTS)**

Аннотация. В условиях химического загрязнения актуальным является повышение устойчивости растений веществами, обладающими протекторным действием. В модельных опытах изучено влияние гуминового препарата – Лигногумата (ЛГ) в концентрациях 0,1, 0,5 и 1 г/л на фитотоксические свойства фосфорсодержащих соединений: метилфосфоновой кислоты (МФК) и пиродифосфата натрия (ПФН). Опыты проводили на растениях ярового ячменя (*Hordeum distichum* L.) сорта Новичок. В качестве тест-функций использовали показатели прорастания и всхожести семян, роста и накопления биомассы проростками ячменя, эффект торможения. Лигногумат в изученных концентрациях не оказывал влияния на прорастание и всхожесть семян ячменя, но стимулировал рост проростков ячменя. В условиях загрязнения среды МФК (0,01 моль/л) ЛГ проявлял протекторное действие на растения, наиболее эффективна была высокая концентрация гуминового препарата (1 г/л). В опытах с ПФН (0,01 моль/л) добавка ЛГ стимулировала прорастание и всхожесть семян ячменя, но не уменьшала ростостигбирующего действия пиродифосфата. Совместное действие МФК и ПФН негативно сказывалось на росте и накоплении биомассы корнями ячменя, добавка ЛГ ослабляла действие поллютантов, но полностью не снимала. По данным расчета эффекта торможения в ряду МФК (без буфера) – ПФН – МФК (с буфером) – МФК+ПФК фитотоксичность фосфорсодержащих веществ снижается. Добавка ЛГ в среду выращивания была наиболее эффективна в опытах с веществами с низкой токсичностью.

Ключевые слова: Лигногумат; метилфосфоновая кислота; пиродифосфат натрия; фитотоксичность; ячмень.

Abstract. In conditions of chemical pollution, it is relevant to enhance the resistance of plants with substances that have a protective action. The effect of humic substance Lignohumate on the phytotoxic properties of phosphorus-containing compounds methylphosphonic acid (MPA) and sodium pyrophosphate (SPP) was studied in model experiments. Lignohumate was tested at three concentrations (0.1, 0.5, and 1 g/L) on *Hordeum distichum* L. of the Novichok variety. The test functions were such indicators as the germinating and sprouting ability of seeds, the growth and biomass accumulation of seedlings, and the inhibition effect. Lignohumate in the studied concentrations did not affect germination of the barley seeds, but it stimulated growth of the barley seedlings. In the conditions of MPA pollution (0.01 mol/L), Lignohumate exerted a protective effect on the plants, and the highest concentration of humic preparation (1 g/L) was the most effective. In the experiments with SPP (0.01 mol/L), Lignohumate stimulated germination of the barley seeds but it did not reduce the growth inhibitory effect of SPP. The combined exposure to the studied pollutants negatively affected growth and accumulation of biomass by the barley roots. The introduction of Lignohumate weakened the combined effect but could not completely counteract it. The calculation of inhibition effect showed that the phytotoxicity of phosphorus-containing substances reduced in the order *MPA (without buffer) – SPP – MPA (with buffer) – MPA+SPP*. The introduction of Lignohumate to the growth medium was the most effective in experiments with low-toxic substances.

Key words: Lignohumate; methylphosphonic acid; sodium pyrophosphate; phytotoxicity; barley.

Сведения об авторе: Огородникова Светлана Юрьевна, SPIN-код: 3179-7925, ORCID: 0000-0001-8865-4743, канд. биол. наук, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия, svetao_05@mail.ru.

About the authors: Ogorodnikova Svetlana Yurievna, SPIN-code: 3179-7925, ORCID: 0000-0001-8865-4743, Ph.D., Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktvykar, Russia, svetao_05@mail.ru.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № гос. регистрации АААА-А17-117121990125-5.

Введение

Проблема техногенного загрязнения соединениями фосфора становится актуальной для многих регионов. В ходе хозяйственной деятельности в окружающую среду поступают фосфорсодержащие соединения, представляющие опасность для живых систем. В Кировской области с 2006 по 2015 гг.

функционировал объект по уничтожению фосфорсодержащих отравляющих веществ (зарин, зоман, Vx газы). Продуктами разрушения фосфорсодержащих веществ являются органические и неорганические соединения фосфора. К числу таких веществ относится фосфорорганический ксенобиотик – метилфосфоновая кислота, которая устойчива к разложению в окружающей среде. Метилфосфоновая кислота оказывает токсическое действие на фототрофные организмы, вызывает нарушение дыхания и водного обмена, индуцирует окислительный стресс в растительных клетках, угнетает рост и развитие растений [8; 9]. Специфическим фосфорсодержащим поллютантом является пиррофосфат натрия. Известно, что пиррофосфат натрия вызывает нарушение жизнедеятельности растений [1; 12]. Метилфосфоновая кислота и пиррофосфат натрия влияют на почвенную альгофлору [5], метилфосфоновая кислота влияет на структуру почвенных актиномицетов [14]. В условиях химического загрязнения природных сред перспективным является направление повышения устойчивости растений за счет привнесения в почву биологически активных веществ, обладающих фитопротекторным действием, к их числу относятся гуминовые препараты.

Лигногумат – высокоэффективное гуминовое удобрение с микроэлементами в хелатной форме, зарегистрирован в России с 1999 г. Лигногумат является продуктом окислительно-гидролитической деструкции лигносульфонатов (продукты переработки древесины). Содержание гуминовых кислот в лигногумате составляет более 60% от органического вещества (по углероду), а содержание кислоторастворимой фракции (фульвокислот, многоосновных органических кислот и других органических веществ) достигает 40%. По химическому составу и строению лигногумат наиболее близок к почвенным гуминовым кислотам [7].

Лигногумат хорошо растворим в воде, легко доступен для растений и проявляет высокую биологическую активность даже в небольших количествах [2]. Его применяют для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, усиления иммунитета растений, снятия стресса при некорневых обработках пестицидами и т. д. Добавка лигногумата в почвы с полиметаллическим загрязнением приводит к снижению содержания подвижных форм тяжелых металлов и нивелирует их токсичность [11]. Лигногумат снижает токсическое действие мышьякового загрязнения на тест-объекты [13].

Целью работы было изучить влияние Лигногумата на фитотоксичность фосфорсодержащих соединений на примере метилфосфоновой кислоты и пиррофосфата натрия и их смесей.

Материалы и методы

В опытах использовали яровой ячмень (*Hordeum distichum* L.) сорта Новичок. Изучали влияние фосфорсодержащих соединений: метилфосфоновой кислоты (МФК), пиррофосфата натрия (ПФН), их смеси и Лигногумата (ЛГ) на прорастание и всхожесть семян, рост и накопление биомассы проростками ячменя. Энергию прорастания семян определяли на третьи сутки опыта. Всхожесть семян оценивали на 7 сутки. Показатели линейного роста (длина листа, длина корня) и биомассы проростков оценивали на 8 сутки. Для измерений отбирали по 60 проростков каждого варианта опыта. Растения разделяли на органы (побег, корень), определяли сырую биомассу, высушивали образцы до воздушно-сухого состояния и измеряли сухую биомассу, рассчитывали содержание сухого вещества в растительных тканях. Оценивали токсичность фосфорсодержащих соединений по величине фитотоксического эффекта (эффект торможения), который рассчитывали по формуле:

$$E_m = \frac{L_k - L_{on}}{L_k} \cdot 100\%,$$

где E_m – эффект торможения, %; L_{on} – средняя длина корней в опыте; L_k – средняя длина корней в контроле [13].

Эффект торможения считается доказанным, если его значение составляет 20% и более.

В первой серии опытов изучали влияние на семена и проростки ячменя ЛГ в концентрациях 0,2, 0,5 и 1 г/л. Для опытов использовали порошкообразный ЛГ (марка А). Во второй серии опытов оценивали воздействие на растения МФК в концентрации 0,01 моль/л и ЛГ. Известно, что МФК (0,01 моль/л) не оказывает летального действия на семена, но влияет на рост растений [4; 10]. Для разделения эффектов подкисления и действия МФК проростки выращивали в присутствии раствора МФК (рН = 2,5) и раствора МФК с добавлением цитратного буфера (рН = 5,7). В третьей серии опытов изучали действие на растения ПФН в концентрации 0,01 моль/л и ЛГ. При такой концентрации ПФН не оказывает влияния на жизнеспособность семян, но ингибирует всхожесть и рост ячменя [1]. В четвертой серии опытов было изучено действие смеси фосфорсодержащих веществ (МФК и ПФН) в концентрации 0,01 моль/л и ЛГ на растения ячменя. Контрольный вариант – дистиллированная вода. Статистическую обработку данных проводили с использованием статистического пакета Excel (MS Office 2007). На ри-

сунках и в таблицах представлены средние арифметические величины и стандартная ошибка. Достоверность различий между двумя средними оценивали с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Влияние Лигногумата. Лигногумат в изученных концентрациях (0,2, 0,5 и 1 г/л) не оказывал влияния на показатели всхожести семян и энергию прорастания семян. В опытных вариантах число взшедших семян было близко к контролю. Выявлено ростстимулирующее действие растворов ЛГ на проростки ячменя (табл. 1).

Таблица 1

Влияние Лигногумата на линейный рост проростков ячменя

Вариант	Контроль (вода)	Лигногумат, г/л		
		0,2	0,5	1
Длина, см				
Побег	5,12±0,51	5,74±0,58	6,14±0,63*	5,23±0,55
Корень	6,79±0,69	7,34±0,73	7,53±0,77	7,25±0,76
Побег/корень	0,75	0,78	0,82	0,72
Сырая биомасса проростка, мг				
Побег	21,9±1,6	23,6±2,7	24,8±1,6*	22,8±1,7
Корень	60,2±5,4	66,3±6,7	74,4±6,9*	65,1±4,8

Примечание: *различия достоверны при $p \leq 0,05$.

В варианте с действием ЛГ в самой низкой концентрации (0,2 г/л) длина побегов и корней была больше, чем в контроле на 12 и 8% соответственно. Лигногумат в концентрации в 0,5 г/л в большей степени стимулировал рост побегов, о чем свидетельствует увеличение соотношения побег/корень, по сравнению с контрольными растениями. Лигногумат в самой высокой изучаемой концентрации (1 г/л) оказался менее эффективным, отмечали стимулирование роста только корневой системы, которая непосредственно контактировала с гуминовым препаратом.

Лигногумат в концентрации 0,5 г/л стимулировал накопление сырой биомассы проростками ячменя (табл. 1). Под влиянием ЛГ в концентрациях 0,2 и 1 г/л достоверных изменений в накоплении биомассы проростками ячменя не выявлено.

Воздействие Лигногумата на фитотоксичность МФК. Изучено действие ЛГ на всхожесть семян и рост проростков ячменя в условиях загрязнения среды выращивания фосфорорганическим поллютантом – МФК. Проростки выращивали в присутствии раствора МФК (pH = 2,5) и раствора МФК с добавлением цитратного буфера (pH = 5,7).

Метилфосфоновая кислота (0,01 моль/л) независимо от pH среды выращивания не оказывала влияния на энергию прорастания и всхожесть семян ячменя. Изученные показатели были близки к контролю. В вариантах с совместным действием МФК и ЛГ достоверных отличий от контроля по показателям всхожести и энергии прорастания семян не установлено.

Под влиянием МФК происходило угнетение роста проростков ячменя (рис. 1). Корневая система ячменя более чувствительна к действию МФК, по сравнению с надземной частью растений. Длина корней ячменя в вариантах с действием МФК без подщелачивания и с подщелачиванием была меньше, по сравнению с контролем, на 69 и 54% соответственно. Ингибирующее действие МФК на рост побега сильнее проявлялось в варианте без подщелачивания (pH = 2,5).

В присутствии ЛГ отмечали снижение фитотоксического эффекта МФК на показатели линейного роста проростков ячменя (рис. 1). В опытах с МФК наибольшее протекторное действие проявляла самая высокая концентрация ЛГ (1 г/л).

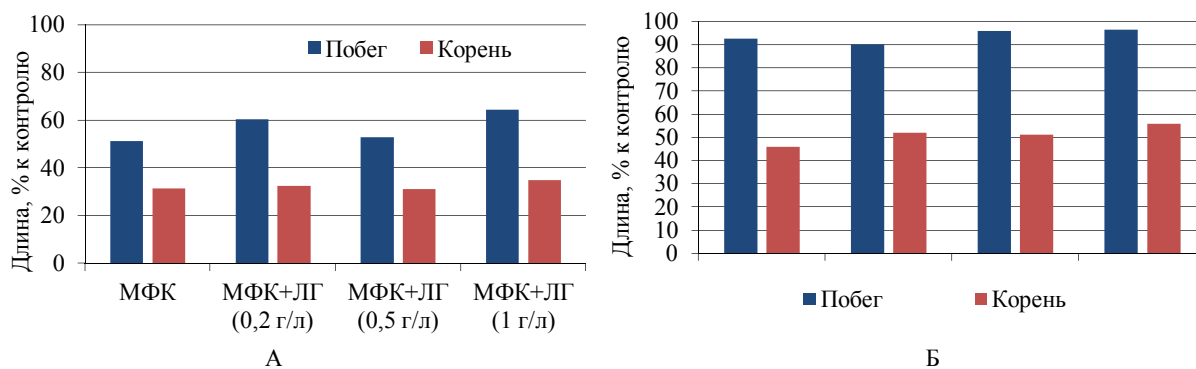


Рис. 1. Действие Лигногумата и метилфосфоновой кислоты (0,01 моль/л) без буфера (А) и с буфером (Б) на показатели линейного роста 7-суточных проростков ячменя

Метилфосфоновая кислота вызывала торможение накопления биомассы проростками ячменя (табл. 2). В большей степени угнетение накопления биомассы отмечали в варианте с действием МФК без добавления буфера ($\text{pH} = 2,5$), масса надземной и подземной частей растений составляла 60% от массы контрольных растений. Добавка ЛГ в среду выращивания приводила к снижению негативного действия МФК, что проявилось в росте накопления биомассы проростками ячменя по сравнению с вариантом с действием МФК. В большей степени протекторный эффект ЛГ проявлялся в вариантах с МФК с добавлением буфера, биомасса опытных растений была близка к контролю.

Снижение накопления биомассы растений может быть следствием нарушения водного режима растений. МФК без буфера ($\text{pH} = 2,5$) вызывала значительное снижение обеспеченности водой растительных тканей и повышение содержания сухого вещества (табл. 2). В большей степени нарушения водного режима проявились в корнях растений, по сравнению с надземными органами. Ранее нами было показано негативное влияние МФК на водный режим растений [8]. Известно, что МФК вызывает уменьшение диффузионной водной проницаемости клеток корней кукурузы, которое происходит за счет снижения численности водных каналов на мембранах [3]. Кроме того, под влиянием МФК происходит нарушение барьерной функции мембран [10]. Добавление ЛГ в среду выращивания ($\text{pH} = 2,5$) не уменьшало негативного действия МФК, содержание воды в растительных тканях было ниже по сравнению с контрольными растениями.

Эффекты Лигногумата на фитотоксичность ПФН. Пирофосфат натрия в изучаемой концентрации 0,01 моль/л не оказывал влияния на энергию прорастания семян ячменя, которую оценивали на третьи сутки опыта (рис. 2). С увеличением длительности инкубации семян на растворе эффект ПФН проявлялся в большей степени, отмечали достоверное снижение всхожести семян ячменя. Добавление ЛГ в среду выращивания оказывало положительное влияние на показатели прорастания и всхожести семян ячменя в присутствии ПФН. Значительную стимуляцию всхожести семян в условиях загрязнения ПФН проявляла самая высокая концентрация ЛГ (1 г/л).

Пирофосфат натрия ингибировал рост и накопление биомассы проростками ячменя (рис. 3). Корневая система растений отличалась большей чувствительностью к действию ПФН по сравнению с надземной частью растений. В варианте с ПФН длина корней составляла 42% от длины корней растений контрольного варианта.

Таблица 2

Влияние Лигногумата и метилфосфоновой кислоты (0,01 моль/л) на накопление биомассы проростками ячменя и содержание сухого вещества в растительных тканях

Вариант	МФК (рН = 2,5)		МФК + буфер (рН = 5,5)	
	Сырая биомасса проростка, мг			
	побег	корень	побег	корень
Контроль (вода)	58 ± 4	159 ± 18	71 ± 9	150 ± 12
МФК	34 ± 5*	98 ± 11*	63 ± 8	111 ± 10*
МФК + ЛГ 0,2 г/л	41 ± 10*	110 ± 18*	65 ± 8	135 ± 9*
МФК + ЛГ 0,5 г/л	40 ± 5*	105 ± 9*	66 ± 10	138 ± 8*
МФК + ЛГ 1 г/л	43 ± 5*	108 ± 9*	65 ± 7	139 ± 10
	Содержание сухого вещества, %			
Контроль (вода)	9,7	18,6	9,4	16,9
МФК	12,7	31,7	11,1	18,6
МФК + ЛГ 0,2 г/л	12,0	29,1	10,6	15,7
МФК + ЛГ 0,5 г/л	11,5	30,3	10,6	16,2
МФК + ЛГ 1 г/л	12,1	28,1	10,5	17,8

Примечание: * различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

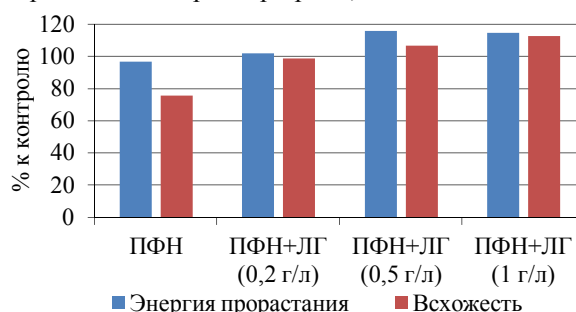


Рис. 2. Влияние Лигногумата и пирофосфата натрия (0,01 моль/л) на энергию прорастания и всхожесть семян ячменя

Добавление ЛГ в среду выращивания не снижало токсического действия ПФН на проростки ячменя. Длина побегов и корней опытных растений составляла 40–50% от контрольных растений (рис. 3). В варианте с действием ПФН и ЛГ биомасса надземных органов и корней была меньше контроля на 20 и 80% соответственно (табл. 3). Присутствие в среде выращивания ПФН приводило к снижению содержания воды в растительных тканях и повышению доли сухого вещества, что свидетельствует о нарушении водного режима растений.

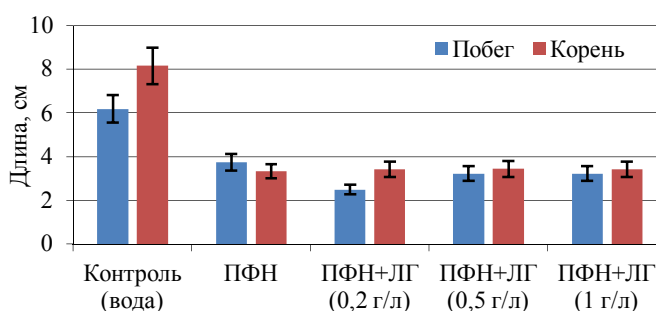


Рис. 3. Эффекты Лигногумата и пирофосфата натрия (0,01 моль/л) на показатели линейного роста проростков

Совместное действие ПФН, МФК и Лигногумата. В условиях химического загрязнения растения одновременно испытывают действие нескольких веществ. При совместном присутствии поллютанты могут вызывать изменение токсичности друг друга. Было изучено сочетанное действие фосфорсодержащих веществ – МФК и ПФН на семена и проростки ячменя.

Под влиянием смеси фосфорсодержащих веществ (МФК и ПФН) снижалась энергия прорастания и всхожесть семян ячменя (рис. 4). Лигногумат в концентрации 0,5 и 1 г/л нивелировал токсический эффект смеси фосфорсодержащих поллютантов на энергию прорастания и всхожесть семян.

Таблица 3

Влияние Лигногумата и пирофосфата натрия (0,01 моль/л) на накопление биомассы проростками ячменя и содержание сухого вещества в растительных тканях

Вариант	Сырая биомасса проростка, мг		Содержание сухого вещества, %	
	лист	корень	лист	корень
Контроль (вода)	134±12	100±31	19	8
ПФН	111±9*	24±5*	28	12
ПФН + ЛГ 0,2 г/л	102±12*	19±4*	31	16
ПФН + ЛГ 0,5 г/л	104±6*	15±1*	29	21
ПФН + ЛГ 1 г/л	110±9*	17±3*	29	16

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$.

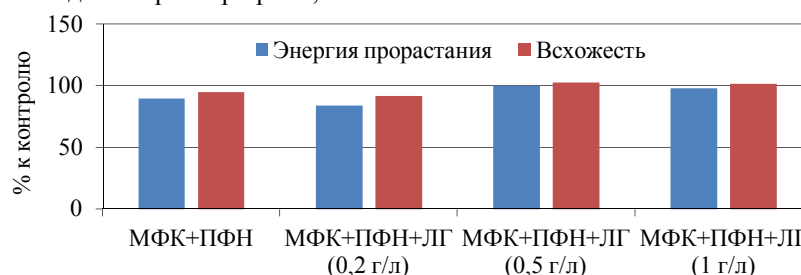


Рис. 4. Влияние Лигногумата и смеси метилфосфоносовой кислоты (0,01 моль/л) и пирофосфата натрия (0,01 моль/л) на энергию прорастания и всхожесть семян ячменя

Выращивание ячменя в присутствии ПФН и МФК приводило к угнетению роста проростков (табл. 4). При этом корневая система оказалась более чувствительной к действию смеси поллютантов, отмечали увеличение отношения побег/корень по сравнению с контролем. В присутствии ЛГ ростингибирующий эффект на корни смеси фосфорсодержащих веществ снижался. Наиболее эффективна при этом была самая высокая концентрация ЛГ (1 г/л). Положительного действия ЛГ на рост побегов в присутствии фосфорсодержащих поллютантов не выявлено (табл. 4).

Таблица 4

Действие смеси метилфосфоносовой кислоты (0,01 моль/л), пирофосфата натрия (0,01 моль/л) и Лигногумата на рост и накопление биомассы проростками ячменя

Вариант	Контроль (вода)	МФК + ПФН	МФК + ПФН + ЛГ 0,2 г/л	МФК + ПФН + ЛГ 0,5 г/л	МФК + ПФН + ЛГ 1 г/л
Длина, см					
Побег	8,88 ± 0,91	7,99 ± 0,82*	8,28 ± 0,86*	7,84 ± 0,81*	8,17 ± 0,82*
Корень	8,86 ± 0,93	6,30 ± 0,64*	6,90 ± 0,69*	7,07 ± 0,69*	7,35 ± 0,77*
Побег/корень	1,0	1,27	1,20	1,11	1,11
Сырая биомасса проростка, мг					
Побег	75,7 ± 6,5	80,8 ± 7,6	86,5 ± 9,4*	85,8 ± 8,7*	83,0 ± 8,1
Корень	149,0 ± 9,7	130,2 ± 10,3*	139,6 ± 11,3	138,6 ± 12,4	134,4 ± 14,0*
Содержание сухого вещества, %					
Побег	9	10	10	10	10
Корень	13	17	16	17	17

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$.

Фосфорсодержащие вещества вызывали снижение накопления биомассы корнями (табл. 4). Добавление ЛГ в среду выращивания ослабляло действие смеси МФК и ПФН, но полностью не снимало. Надземная биомасса опытных растений была выше, чем в контроле, что свидетельствует о большей устойчивости надземных органов к действию фосфорсодержащих соединений по сравнению с корнями. Негативного влияния смеси ПФН и МФК на водный режим растений не выявлено, содержание сухого вещества в тканях опытных растений было близко к контролю.

Эффект торможения. Для оценки фитотоксичности фосфорсодержащих препаратов и протекторного действия Лигногумата был рассчитан эффект торможения (рис. 5). Все тестируемые фосфорсодержащие соединения в большей степени вызывали торможение роста корней, чем побегов ячменя. Токсическое действие МФК (рН = 2,5) более выражено по сравнению с действием МФК с добавлением буфера (рН=5), эффект торможения равен 68,5. Добавка ЛГ в среду выращивания не снижала фитоток-

сического эффекта МФК (рН = 2,5). Протекторное действие проявлял ЛГ в опытах с МФК с добавлением буфера (рН = 5), эффект торможения снижался с 54 до 44. Значительное токсическое действие оказывал ПФН, эффект торможения – 58, ЛГ не снижал ростингибирующего действия поллютанта.

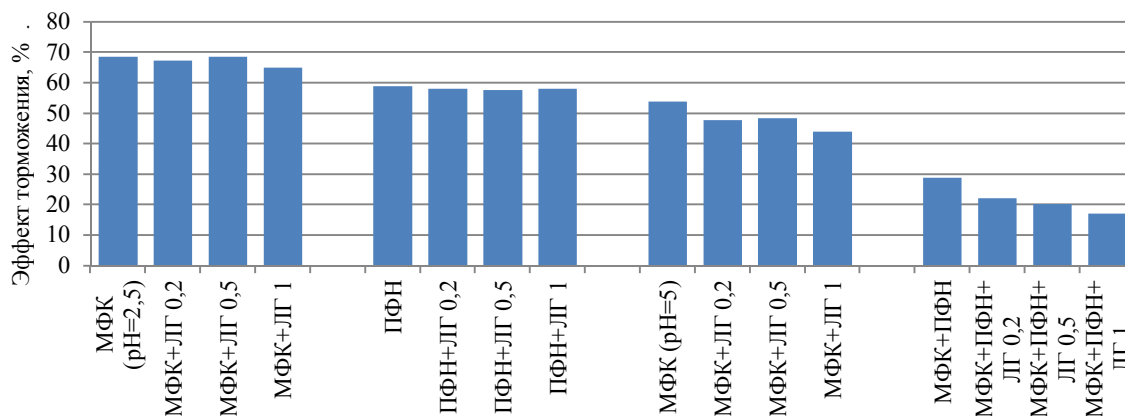


Рис. 5. Значения эффекта торможения при действии фосфорсодержащих соединений (МФК 0,01 моль/л и ПФН 0,01 моль/л) и Лигногумата (г/л) на растения ячменя

По сравнению с действием индивидуальных веществ, сочетанное действие фосфорсодержащих соединений в меньшей степени вызывало торможение роста. Эффект торможения в варианте с действием МФК+ПФН составлял 29, в присутствии ЛГ токсический эффект смеси фосфорсодержащих токсикантов значительно снижался до уровня недоказанного эффекта (эффект торможения менее 20).

На основании расчета эффекта торможения в ряду МФК (рН = 2,5) – ПФН – МФК (рН = 5) – МФК+ПФК фитотоксичность фосфорсодержащих соединений снижается. Добавка ЛГ в среду выращивания была наиболее эффективна в опытах с веществами с низкой токсичностью: МФК (рН = 5) и смесь МФК+ПФН.

Выводы

1. Лигногумат в изученных концентрациях (0,2, 0,5 и 1 г/л) не оказывал влияния на прорастание и всхожесть семян ячменя. Благоприятное действие гуминового препарата проявилось на этапе роста и развития проростка. В большей степени ростстимулирующий эффект на проростки оказывал ЛГ в концентрации 0,5 г/л.

2. Добавка ЛГ в среду выращивания, содержащую МФК (0,01 моль/л), приводила к снижению фитотоксического действия МФК на показатели линейного роста проростков ячменя. В большей степени протекторное действие оказывал ЛГ в самой высокой концентрации 1 г/л. По показателю накопления биомассы проростками ячменя в условиях сильно кислой среды (МФК без буфера) ЛГ в меньшей степени проявлял протекторные свойства по сравнению с оптимальной для растений средой (МФК с добавлением буфера).

3. Присутствие ЛГ в среде выращивания оказывало положительное влияние на показатели прорастания и всхожести семян ячменя, но не уменьшало ростингибирующего действия ПФН (0,01 моль/л).

4. Совместное действие фосфорсодержащих веществ (МФК+ПФН) на проростки ячменя отличалось от влияния индивидуальных веществ. В присутствии смеси фосфорсодержащих веществ снижалась энергия прорастания и всхожесть семян ячменя. Лигногумат в концентрации 0,5 и 1 г/л нивелировал токсический эффект смеси фосфорсодержащих поллютантов на энергию прорастания и всхожесть семян. Присутствие смеси фосфорсодержащих веществ в среде выращивания негативно сказывалось на росте и накоплении биомассы корнями ячменя, добавка Лигногумата ослабляла действие поллютантов, но полностью не снимала.

5. Испытуемые растворы фосфорсодержащих поллютантов с одинаковой концентрацией действующих веществ (0,01 моль/л) отличаются по токсическому действию на всхожесть семян и рост проростков. В ряду МФК (рН = 2,5) – ПФН – МФК (рН = 5) – МФК+ПФК фитотоксичность фосфорсодержащих веществ снижается. Добавка ЛГ в среду выращивания была наиболее эффективна в опытах с веществами с низкой токсичностью. Выявленные фитопротекторные эффекты Лигногумата могут быть использованы при разработке мероприятий по реабилитации сред, загрязненных фосфорсодержащими поллютантами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аюшинова Л. С. Ответные реакции растений на действие специфических поллютантов (на примере метилфосфоновой кислоты, пиррофосфата натрия и фторида натрия): Автореф. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2015.
2. Безуглова О. С. Удобрения, биодобавки и стимуляторы роста вашего урожая. Ростов н/Д, 2007.
3. Ионенко И. Ф., Головки Т. К., Анисимов А. В. Влияние метилфосфоновой кислоты на диффузионный транспорт воды в корнях кукурузы. Исследование методом СПИН-ЭХО ЯМР // Проблемы сельского хозяйства: межвузовский сборник научных трудов. Калининград, 2005. С. 165–172.
4. Кондакова Л. В., Огородникова С. Ю., Ашихмина Т. Я., Домрачева Л. И. Влияние метилфосфоновой кислоты на развитие водорослей в почве // Ботанический журнал. 2009. № 1(94). С. 42–48.
5. Кондакова Л. В., Домрачева Л. И., Огородникова С. Ю., Олькова А. С., Кудряшов Н. А., Ашихмина Т. Я. Биоиндикационные и биотестовые реакции организмов на действие метилфосфонатов и пиррофосфата натрия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 63–69.
6. Коновалов А. С. Оценка детоксикации гуматами растворов соли мышьяка методами биотестирования // Бюллетень ВСНЦ СО РАН. 2013. № 2(90). С. 115–119.
7. Лигногумат. Общая информация. Методика и эффективность применения. Рекомендации для агрономов. СПб., 2011. С. 20.
8. Огородникова С. Ю., Головки Т. К., Ашихмина Т. Я. Реакция растений на фосфорорганический ксенобиотик – метилфосфоновую кислоту: доклад на заседании президиума Коми научного центра УрО Российской академии наук. Сыктывкар, 2004.
9. Огородникова С. Ю., Головки Т. К. Реакции растений ячменя на действие ксенобиотика – метилфосфоновой кислоты в низких концентрациях // Сибирский экологический журнал. 2006. № 3(13). С. 371–375.
10. Огородникова С. Ю., Кантор Г. Я. Кинетика экзосмоса электролитов у проростков ячменя под действием стресс-факторов // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: матер. междунар. конф. Сыктывкар, 2007. С. 299–301.
11. Пукальчик М. А., Терехова В. А., Якименко О. С., Акулова М. И. Сравнение ремедиационных эффектов Биочара и Лигногумата на почве при полиметаллическом загрязнении // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. С. 79–85.
12. Свинолупова Л. С., Огородникова С. Ю. Влияние пиррофосфата натрия на антиоксидантную систему защиты растений ячменя // Агрохимия. 2012. № 6. С. 84–88.
13. Терехова В. А., Воронина Л. П., Гершкович Д. В., Ипатова В. И., Исакова Е. Ф., Котелевцев С. В., Попутникова Т. О., Рахлеева А. А., Самойлова Т. А., Филенко О. Ф. Биотест-системы для задач экологического контроля: методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур. М., 2014.
14. Товстик Е. В., Огородникова С. Ю., Ашихмина Т. Я., Широких И. Г. Влияние метилфосфоновой кислоты на реакцию почвенных актиномицетов // Агрохимия. 2016. № 5. С. 47–54.

REFERENCES

1. Ayushinova, L. S. (2015). *Otvetnyye reaktsii rasteniy na deystviye spetsificheskikh pollyutantov (na primere metilfosfonovoy kisloty, pirofosfata natriya i florida natriya)* “Plant responses to the action of specific pollutants (for example, methylphosphonic acid, sodium pyrophosphate and sodium fluoride)”: Abstract. ... Cand. biol. sciences. Syktyvkar. (In Russian)
2. Bezuglova, O. S. (2007). *Udobreniya, biodobavki i stimulyatory rosta vashego urozhaya* “Fertilizers, supplements and stimulants for the growth of your crop”. Rostov-on-Don. (In Russian)
3. Ionenko, I. F., Golovko, T. K., & Anisimov, A. V. (2005). *Vliyaniye metilfosfonovoy kisloty na diffuzionnyy transport vody v kornyakh kukuruzy. Issledovaniye metodom SPIN-EKHO YAMR* “Effect of methylphosphonic acid on diffusive transport of water in maize roots. Study by SPIN-ECHO NMR”. *In Problems of agriculture. Interuniversity collection of scientific papers. Kaliningrad*, 165-172. (In Russian)
4. Kondakova, L. V., Ogorodnikova, S. Yu., Ashikhmina, T. Ya., & Domracheva, L. I. (2009). *Vliyanie metilfosfonovoi kisloty na razvitie vodoroslei v pochve. Botanicheskiy zhurnal “Botanical Journal”, 1(94)*. 42-48. (In Russian)
5. Kondakova, L. V., Domracheva, L. I., Ogorodnikova, S. Yu., Olkova, A. S., Kudryashov, N. A., & Ashikhmina, T. Ya. (2014). *Biindikatsionnye i biotestovye reaktsii organizmov na deystvie metilfosfonatov i pirofosfata natriya. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya “Theoretical and Applied Ecology”, 4*. 63-69.
6. Konovalov A. S. (2013). *Otsenka detoksikatsii gumatami rastvorov soli mysh'yaka metodami biotestirovaniya. Byulleten' VSNCS SO RAN “Bulletin of the WCSC of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 2(90)*, 115–119. (In Russian)
7. *Lignogumat. Obshchaya informatsiya. Metodika i effektivnost' primeneniya. Rekomendatsii dlya agronomov* “Lignohumate General information. Methodology and effectiveness of application. Recommendations for agronomists”. (2011). St. Petersburg. (In Russian)
8. Ogorodnikova, S. Yu., Golovko, T. K., & Ashikhmina, T. Ya. (2004). *Reaktsii rasteniy na fosfororganicheskiy ksenobiotik – metilfosfonovuyu kislotu* “Plant Reactions to Organophosphate Xenobiotic – Methylphosphonic Acid”. *In Scientific Reports. Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar*. (In Russian)
9. Ogorodnikova, S. Yu., & Golovko, T. K. (2006). *Reaktsii rastenii yachmenya na deystvie ksenobiotika – metilfosfonovoi kisloty v nizkikh kontsentratsiyakh. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal “Siberian Journal of Ecology”, 3(13)*. 371–375. (In Russian)
10. Ogorodnikova S. Yu., & Kantor G. Ya. (2007). *Kinetika ekzosmosa elektrolitov u prorostkov yachmenya pod deystviyem stress-faktorov* “Kinetics of exosmos of electrolytes in barley seedlings under the influence of stress factors”. *In Modern Plant Physiology: from molecules to ecosystems: mater. international conf. Syktyvkar*, 299–301. (In Russian)

11. Pukalchik, M. A., Terekhova, V. A., Yakimenko, O. S., & Akulova, M. I. (2016). Evaluation of biochar and lignogumate remediation effect in heavy metal-contaminated soil. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya "Theoretical and Applied Ecology"*, 2, 79-85. (In Russian)
12. Svinolupova, L. S., & Ogorodnikova, S. Yu. (2012). Effect of Sodium Pyrophosphate on the Antioxidant Protection of Barley Plants. *Agrokimiya "Agrochemistry"*, 6, 84–88. (In Russian).
13. Terekhova, V. A., Voronina, L. P., Gershkovich, D. V., Ipatova V. I., Isakova E. F., Kotelevtsev S. V., Poputnikova T. O., Rakhleeva A. A., Samoiloa, T. A., & Filenko, O. F. (2014). Biotest-sistemy dlya zadach ekologicheskogo kontrolya. In *Metodicheskiye rekomendatsii po prakticheskomu ispol'zovaniyu standartizovannykh test-kul'tur "Biotest systems for environmental monitoring tasks: Guidelines for the practical use of standardized test cultures"*. Moscow, 48. (In Russian).
14. Tovstik, E. V., Ogorodnikova, S. Yu., Ashikhmina, T. Ya., & Shirokikh, I. G. (2016). The Effect of methylphosphonous acid on the reaction of soil actinomycetes. *Agrokimiya "Agrochemistry"*, 5, 47-54. (In Russian)

Огородникова С. Ю. Эффекты лигногумата на фитотоксичность фосфорсодержащих соединений (модельные опыты) // Вестник Нижегородского государственного университета. 2020. № 1. С. 60–68. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/10>

Ogorodnikova, S. Yu. (2020). Effects of lignohumate on the phytotoxicity of phosphorus-containing compounds (model experiments). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 60–68. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/10>

дата поступления: 02 июля 2019 г

дата принятия: 22 октября 2019 г.

© Огородникова С. Ю.