

Экология

УДК 504.064: 624.131.46

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПОЧВОГРУНТЕ ПО ТЕСТ-РЕАКЦИЯМ РАСТЕНИЙ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ

Вера Александровна Терехова¹, Денис Борисович Домашнев²,
Максим Александрович Каниськин³, Андрей Владимирович Степачев⁴

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, стр. 12, факультет почвоведения,
e-mail: vtterekhova@gmail.com

¹ - доктор биол. наук, зав. лаб. экотоксикологического анализа почв ф-та почвоведения МГУ,
вед. научн. сотр. Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, стр. 12, факультет почвоведения,
e-mail: vtterekhova@gmail.com

³ - аспирант ф-та почвоведения МГУ, e-mail: letap-msu@mail.ru

⁴ - студент ф-та почвоведения МГУ, e-mail: letap-msu@mail.ru

ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ведущий специалист ООО «Биогрунт»,
109017, Москва, Пыжевский пер., 7;

² - ведущий специалист ООО «Биогрунт», аспирант, e-mail: domashnev_denis@mail.ru

Биотестирование широкого диапазона концентраций подвижного фосфора в модельном почвогрунте МПГ (200-1600 мг/кг по P_2O_5) проведено на разных фазах развития травянистых растений в условиях лабораторных и полевых экспериментов. При тестировании на ранних стадиях развития растений (проростках) в лабораторных и вегетационных опытах наблюдалась острая токсичность МПГ при содержании P_2O_5 выше 800 мг/кг. По результатам анализа продукции зеленой массы трав в первый год наблюдений в микрополеводном опыте можно заключить, что избыток фосфора в МПГ заметного влияния не оказывает.

Ключевые слова: почвогрунт, подвижный фосфор, фитотестирование, газонные травы, нормирование.

В последние годы заметно возрос объем грунтов, завозимых в Москву для целей озеленения и рекультивации загрязненных участков городской территории. В урбоэкосистемы мегаполиса поступает около 1 млн. кубометров грунтов самого различного происхождения ежегодно. Значительная их доля, изготавливаемая на территориях бывших и действующих животноводческих комплексов и птицефабрик, характеризуется высоким содержанием подвижных форм фосфора, калия и некоторых других элементов.

Постановлением Правительства Москвы от 27 июля 2004 г. № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» утвержден порядок контроля и требования к качеству завозимого в Москву почвогрунта. Дискуссионными остаются некоторые нормативные показатели искусственно изготавливаемых почвогрунтов, в частности, максимальное количество подвижного фосфора (P_2O_5), которое не оказывает негативного воздействия на растения.

Фосфор – необходимый элемент питания, обеспечивающий энергетические процессы в клетках растений. Он улучшает цветение, способствует его обилию и продолжительности,

ускоряет развитие корневой системы. Проблеме дефицита фосфорного питания растений и способам оптимального внесения фосфорных удобрений в почву посвящены многочисленные экспериментальные исследования и обзоры [1 - 12]. При недостатке фосфора листья растений приобретают серо-зеленую или красноватую окраску, нижние листья обычно желтеют, буреют, а затем отмирают, наблюдается задержка цветения и созревания. Особенно зависимы от нехватки фосфорного питания молодые растения.

Влияние избытка фосфора на посевы изучено слабее. В агрохимической науке традиционно не устанавливается верхняя пороговая граница по запасу подвижных форм фосфора и калия в почвах. Вместе с тем, анализ литературы по экологическим и биохимическим аспектам проблемы избыточного содержания фосфора свидетельствует о возможных сдвигах в функционировании системы почва-растение от «нормы» к «патологии» [10 - 14]. Нарушение ионного баланса при высоком содержании фосфорных соединений в определенных экологических условиях может ухудшать питание растений, усиливать токсичность почвы. Повышенные концентрации фосфора в почве могут блокировать поступление в

растения калия, железа, цинка, меди и других важнейших элементов питания и, как следствие этого, вызвать пожелтение листьев и приостановку роста растений [10 - 14]. Избыточное содержания фосфора в почвах вызывает следующие визуальные признаки у растений: маленькие искривленные листья, хлороз между жилками, появление ожогов и пятен, опадение листьев, при этом большая корневая система, обильное цветение, слабый рост побегов или его отсутствие, раннее созревание плодов. Сообщается о некоторых специфических эффектах фосфора, которые выражаются в повышении восприимчивости растительных клеток к возбудителям инфекции, в частности, к растительным вирусам [14].

Специальные эколого-токсикологические исследования опасности высоких и сверхвысоких (P_2O_5 более 1000 мг/кг) концентраций фосфора для почвообитающих организмов ранее не проводились.

В данной работе предпринята попытка проанализировать воздействие подвижных форм фосфора, внесенного в грунт в составе KH_2PO_4 , в широком диапазоне концентраций на разные стадии развития травянистых растений в условиях лабораторных и полевых экспериментов.

Исследования проводились в соответствии с техническим заданием государственного контракта с Департаментом природопользования и охраны окружающей среды Правительства Москвы по согласованному плану аккредитованной лаборатории экотоксикологического анализа почв факультета почвоведения МГУ (www.letar.ru) и ООО «Биогрунт» (www.piksa.ru).

Основной задачей работы было выявление избыточного содержания фосфора в почвогрунте по результатам экотоксикологической оценки. Методом фитотестирования предполагалось определить оптимальный и максимально безопасный для травянистых растений уровни подвижного фосфора в почвогрунтах, используемых для целей благоустройства и озеленения города Москвы.

Объектом исследования была зависимость «доза-эффект», которая анализировалась по реакции растений (двух видов трав и травосмесей) на разных стадиях развития на возрастание концентрации фосфора в почвогрунте.

Методика. Постановке биологических экспериментов предшествовало выполнение ряда технических задач: а) производство модельного почвогрунта; б) создание вариантов модельного почвогрунта с заданным содержанием фосфора; в) подготовка сосудов, закладка и проведение лабораторно-полевых опытов с использованием созданных вариантов модельного почвогрунта.

Модельный почвогрунт (МПГ) приготовлен промышленным способом на мобильном сортиро-

вочном комплексе серии «Trommel». В его составе: переходный торф (из Спас-Клепиковского р-на Рязанской обл.) – 10%; каолин (Еленинского месторождения, марка КР-2) – 20%; песок (размер частиц 0,2-0,4 мм) – 70%. Рецептура МПГ является производной от состава искусственной почвенной смеси, установленной ИСО 11268-1 [15], и разрабатывалась с учетом особенностей технологии смешивания исходных компонентов с поправкой на потери при сепарации. Для удобства технического выполнения делали пересчет массовых долей компонентов в объемные с учетом плотности. Характеристики МПГ, произведенного вышеописанным способом, приведены в таблице 1.

1. Некоторые характеристики модельного почвогрунта (МПГ)

Наименование показателя	НД на методы испытаний	Единицы измерения	Значение показателя, $M \pm m$
Влажность	ГОСТ 26713-85	%	15,67±0,91
pH солев.	ГОСТ 26484-85	ед. pH	4,95±0,06
pH водн.	ГОСТ 26423-85	ед. pH	5,61±0,06
Органич. в-во	ГОСТ 26213-91	%	10,9±7,39
P_2O_5 подв.	ГОСТ 26207-91	мг/кг	133,2±37,81
K_2O подв.	ГОСТ 26207-91	мг/кг	37,6±7,91

МПГ имеет супесчаный гранулометрический состав по Н.А. Качинскому (20% физической глины), пепельно-серый цвет, на вид – однородная рассыпчатая масса с комками органического вещества до 5 мм, насыпная плотность 1,1 г/см³. МПГ по основным свойствам значительно однороднее любой природной почвенной разности, что позволяет решить ряд важных проблем, возникающих обычно при проведении агрохимического опыта: минимизировать влияние неоднородности почвенного покрова; значительно повысить репрезентативность получаемых результатов; минимизировать зависимость результатов от истории участка.

Моделирование возрастающего градиента концентраций фосфора в МПГ проводили внесением дигидрофосфата калия (KH_2PO_4) в количествах, необходимых для достижения расчетного значения подвижных форм фосфора (по P_2O_5): 133,2 (исходное), 200, 400, 800, 1600 мг/кг. Фосфор определяли по Кирсанову. Согласно ГОСТ 26205-91 наши варианты МПГ по обеспеченности исследуемым питательным элементом попадали в группы повышенного (101-150 мг/кг), высокого (151-250 мг/кг) и очень высокого (> 250 мг/кг) содержания подвижного фосфора. Варианты модельного грунта для микрополевого опыта получены способом сухого смешивания навесок дигидрофосфата калия в бетоно-смесительной установке.

В качестве тест-культур были использованы отдельные виды – горчица белая – *Sinapis alba* L. и люпин узколистый – *Lupinus angustifolius* L., а также смеси газонных трав СГТ: «Универсал» (Россия) в составе: овсяница луговая – 30%, овсяница красная – 35%, райграс многолетний – 15%, овсяно-райграсный гибрид – 20% и «Sport» (Канада – США) в составе: райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) – 30%, овсяница красная (*Festuca rubra* L.) – 30%, мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – 40%.

Биотестирование было реализовано в трех вариантах, различных по срокам и условиям экспозиции растений: в полевых мелкоделяночных опытах, вегетационных опытах и с помощью стандартных лабораторных фитотестов. Токсичность почвы (избыток фосфора) устанавливали по продуктивности биомассы растений, интенсивности развития проростков и прорастанию семян [19, 20]. Оценка проводилась по разнице показателей в опытных вариантах и контроле (исходный МПГ).

1. **Лабораторные фитотесты** ставили на семенах *Sinapis alba* в чашках Петри (d – 90 мм), в которых было по 35 г МПГ (увлажненного до полной влагоемкости) с добавкой расчетного количества дигидрофосфата калия. Семена растений семейства крестоцветных широко используются в биотестах, поскольку имеют небольшие размеры, малый запас питательных веществ, и, следовательно, более подвержены влиянию внешней среды [19]. Семена в количестве 10 шт./чашку равномерно распределяли и экспонировали 7 сут. при 22°C и освещении не менее 500 лк. Повторность по вариантам четырехкратная. Реакцию растений на разное содержание подвижного фосфора оценивали по показателям всхожести и интенсивности начального роста – длине и массе корней и зеленых проростков.

2. **В вегетационных опытах** оценка развития трав проводилась в открытых теплицах в лотках размером 13 × 37,5 × 6 см, куда помещали по 2 кг МПГ с расчетными концентрациями подвижных форм фосфора. В каждый лоток равномерно высевали по 30 семян горчицы белой или по 2 г. смеси газонных трав и увлажняли до 60 % от наименьшей влагоемкости. У *Sinapis alba* L. учитывали всхожесть, длину побегов (на 12 сут.), длину корней растений и биомассу в фазе цветения. По химическому анализу золы зеленой массы растений стандартным способом определяли вынос фосфора из почвогрунта.

3. **В микрополевых опытах** оценка развития трав проводилась на участке, представляющем собой площадку на техногенно перемещенном супесчаном слое аллювия, расположенном в районе Истринских очистных сооружений. Грунт закладывался в пластиковые сосуды без дна объемом 12 л, вкопанные в почву на ¾ высоты (рис. 1 а, б). Объем слегка утрамбованного и увлажненного до полевой влагоемкости (ПВ) грунта в сосудах составлял 10 л. Газонная травосмесь «Sport» высевалась в соответствии с рекомендованными производителем нормами посева на одном участке (опыт № 1), посев люпина белого в соответствии с принятыми агротехническими нормами был произведен на втором участке (опыт № 2). Влияние всех исследуемых концентраций подвижных форм фосфора (по P_2O_5 : исходное (133,2), 200, 400, 800, 1600 мг/кг) контролировали по развитию культур через семь недель после посева. В первый год проводили скрининговый учет зеленой массы растений (усредненный по 4-м повторностям).

Развитие надземной части газонных трав проводили после первого укоса. У люпина в фазе цветения оценивали не только надземные части растений, но и корни.

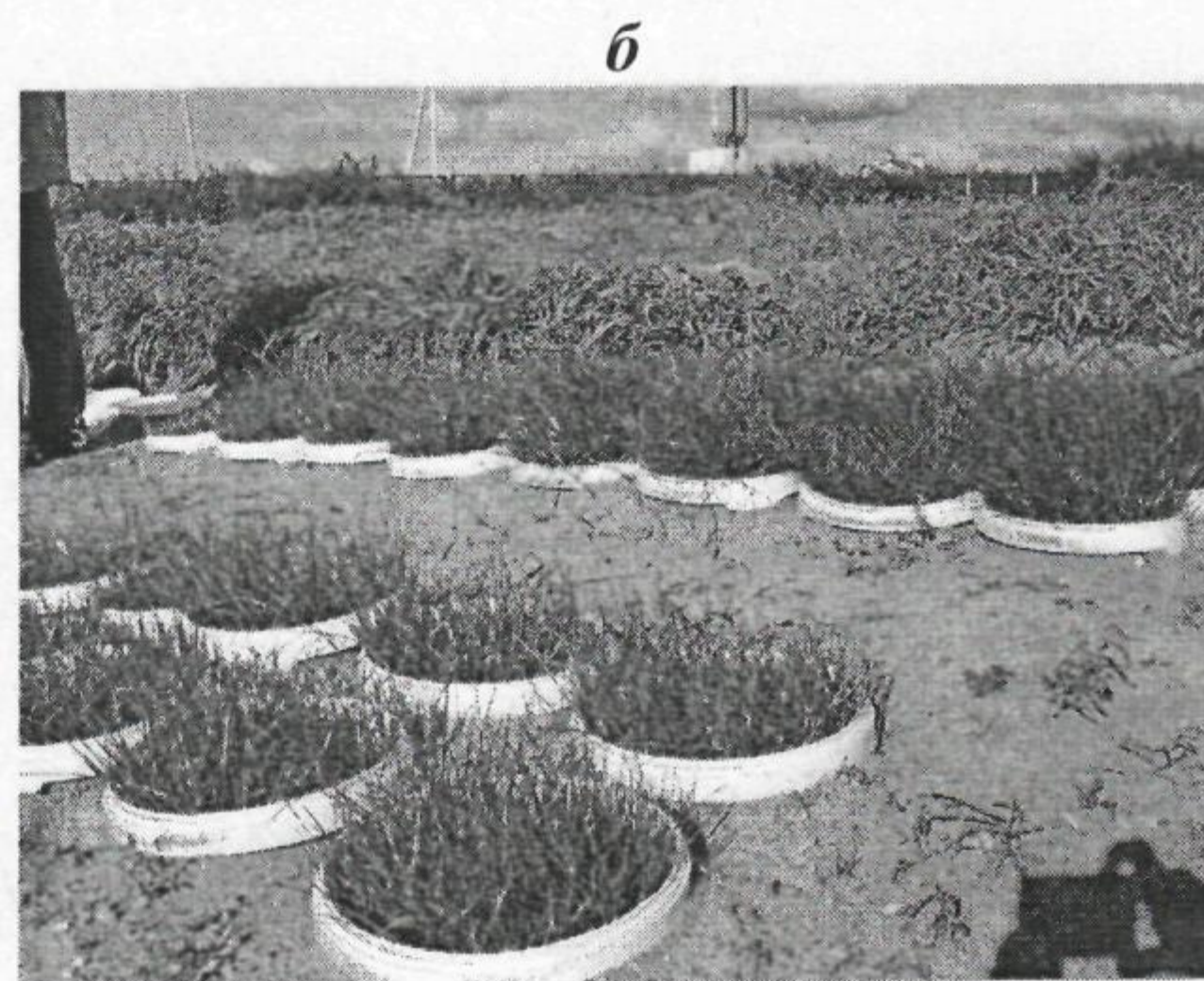
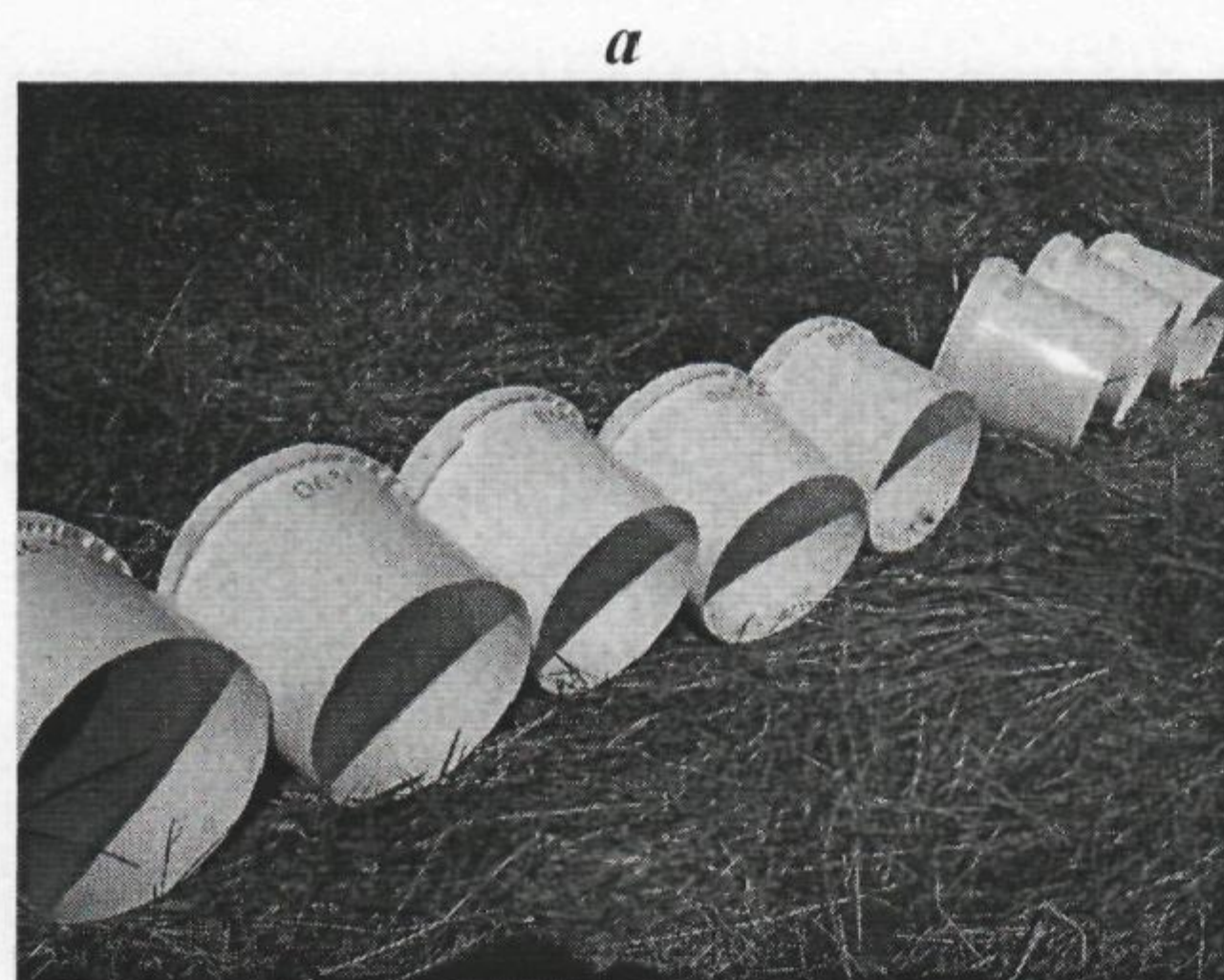


Рис. 1. Внешний вид сосудов до проведения опыта (а) и во время вегетации растений (б)

Результаты и обсуждение. Разные стадии развития растений показали не одинаковую чувствительность к содержанию дигидрофосфата калия в МПГ.

1. Лабораторное фитотестирование. В контролируемых лабораторных условиях биотестирование представляется наиболее надежным вариантом экотоксикологической оценки. Действительно, биотические показатели, исследованные в лабораторных фитотестах, оказались весьма чувствительными к содержанию подвижного фосфора в почвогрунте. Результаты биотестов показали, что внесение в МПГ фосфора в диапазоне концентраций, соответствующих P_2O_5 , 200-800 мг/кг в целом положительно влияет на начальный рост растений (табл. 2). Однако при 800 мг/кг намечается тенденция к снижению корневой массы растений. При содержании P_2O_5 1600 мг/кг явно снизились основные показатели начального развития проростков (табл. 2). Содержание фосфора не отразилось на индексе всхожести.

Показатель всхожести оказался не столь чувствительным к избытку фосфора.

Анализ отношения биомассы стебля и корня свидетельствует о том, что по мере возрастания концентрации P_2O_5 происходит замедление роста корневой системы проростков.

Морфологические изменения побегов наиболее выражены при P_2O_5 1600 мг/кг МПГ. Проростки в этом варианте имели тонкий стебель, более слабое, чем в остальных вариантах, опушение стебля, у некоторых экземпляров была заметна коричневая перетяжка в зоне перехода стебля в корень; площадь листовых пластинок заметно меньше, чем при P_2O_5 200 и 400 мг/кг. Корни проростков при P_2O_5 1600 мг/кг – укороченные, с низкой толерантностью к механическим повреждениям, в ряде случаев отмечалось отмирание корня. Проростки в варианте МПГ с P_2O_5 200 мг/кг имели наиболее развитые семядоли, ткани стебля и семядолей характеризовались исчезновением антоциановой окраски, что может свидетельствовать об ускоренных процессах в онтогенезе.

В итоге установлено, что содержание подвижных форм фосфора в диапазоне концентраций P_2O_5 до 800 мг/кг оказывает стимулирующий, а при 1600 мг/кг – явно токсический эффект на проростки тест-растений.

2. Вегетационный опыт. Между интенсивностью начального прорастания семян и продуктивностью растений существует прямая зависимость. Тем не менее, показатели интенсивности начального роста семян – всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания, считаются более чувствительными в экотоксикологической оценке [19, 20]. Результаты вегетационного опыта подтвердили это положение (табл. 3). Травянистые тест-растения на разных этапах прорастания семян и раннего развития оказались особенно чувствительны к высоким дозам дигидрофосфата калия.

Негативное влияние повышенного содержания KH_2PO_4 проявлялось в снижении биомассы (практически на 50% при 1600 мг/кг по P_2O_5) и в начинающемся хлорозе нижних листьев растений.

По завершении этой серии опытов проанализировали накопление фосфора тест-растениями. При химическом анализе зеленой массы (по данным, полученным в аккредитованной лаборатории НИИСХ ЦРНЗ) отмечено плавное возрастание накопления общего содержания фосфора в тканях растений с повышением концентрации подвижного фосфора в МПГ. Причем это явление характерно как для *Sinapis alba*, так и для смеси газонных трав (табл. 3). Накопление фосфора биомассой горчицы белой при максимальной дозе удобрения в два раза выше по сравнению с его аккумуляцией газонной травой. Результаты подтверждают высокую биоремедиационную способность этой культуры [21], что позволяет рекомендовать ее для извлечения избыточного содержания фосфора из почвогрунтов.

3. Микрополевой опыт. В этих исследованиях предоставляется возможность оценить воздействие избытка фосфора за относительно продолжительный для биотестов длительный период вегетации по росту и продукции биомассы травянистых тест-растений, т.е. по видимым индикационным признакам.

2. Результаты лабораторного фитотестирования почвогрунта с разным содержанием подвижного фосфора по проросткам *Sinapis alba* L.

Содержание P_2O_5 , мг/кг	Всхожесть, %	Средние размеры проростка, мм		Средняя биомасса проростка, г		Соотношение $\frac{\text{стебель}}{\text{корень}}$
		корень	стебель	корень	стебель	
Исходное	85,0 ± 7,4	2,29 ± 0,53 (100,0)	3,15 ± 0,72 (100,0)	21,2 ± 4,0 (100,0)	40,0 ± 16,0 (100,0)	1,89
200	90,0 ± 10,5	3,92 ± 0,94 (171,2)	3,36 ± 0,46 (106,7)	28,3 ± 3,9 (133,5)	57,4 ± 10,5 (143,5)	2,03
400	95,0 ± 7,4	2,63 ± 0,92 (114,8)	3,71 ± 0,80 (117,8)	24,5 ± 4,4 (115,6)	61,0 ± 6,7 (152,5)	2,49
800	90,0 ± 10,5	2,62 ± 0,81 (144,4)	2,95 ± 0,94 (93,7)	19,5 ± 4,8 (92,0)	51,1 ± 10,7 (127,8)	2,62
1600	72,5 ± 16,1	1,57 ± 0,76 (68,6)	2,33 ± 1,10 (74,0)	11,6 ± 3,7 (54,7)	34,4 ± 5,5 (86,0)	2,97

3. Влияние содержания P_2O_5 в МПГ на всхожесть семян и показатели развития растений по фазам роста и содержание подвижного фосфора в их биомассе

Содержание P_2O_5 , мг/кг	Всхожесть, %	Длина побегов на 12 сут, мм (% к исх.)	Длина растения в фазе цветения, мм (% к исх.)	Биомасса в фазе цветения, г (% к исх.)	Содержание фосфора в зеленой массе трав (Робц, %)	
					<i>Sinapis alba</i> L. (% к исх.)	СГТ «Универсал» (% к исх.)
133 (исх.)	80,0	43,8±11,2 (100,0)	56,8±13,7 (100,0)	69,3±14,1 (100,0)	0,39±0,08 (100)	0,28±0,05 (100)
200	66,7	53,6±13,4 (122,3)	75,8±10,3 (133,5)	105,4±22,1 (152,1)	0,74±0,21(189,7)	0,28±0,06 (100)
400	66,7	51,1±14,6 (116,7)	62,8±38,4 (110,6)	142,8±27,6 (206,1)	0,75±0,15 (192,3)	0,39±0,08 (139,3)
800	76,7	52,6±18,7 (120,1)	76,4±2,0 (134,5)	127,3±25,0 (183,7)	0,79±0,16 (202,6)	0,46±0,10 (164,3)
1600	60,0	47,9±21,2 (109,4)	46,4±21,0 (81,7)	36,2±7,5 (52,2)	1,07±0,31(274,4)	0,55±0,15 (196,4)

Как свидетельствуют данные, полученные в первый год наблюдений (табл. 4), по истечении 7-недельной экспозиции видимых признаков угнетения растений не наблюдалось даже при содержании в МПГ подвижных форм фосфора выше 1000 мг /кг (по P_2O_5). Различия в высоте растений по вариантам опытов были несущественными. Биомасса люпина и газонной травы по вариантам варьировала и достоверно не различалась. Газонная травосмесь ГТС «Sport» дала максимальную зеленую массу в варианте P_2O_5 1600 мг/кг. У растений люпина максимальная биомасса зафиксирована при P_2O_5 – 800 и 1600 мг/кг. Наибольшая масса клубеньков на корнях люпина была при содержании P_2O_5 1600 мг/кг МПГ. Однако оптимальной для показателя числа клубеньков была концентрация P_2O_5 400 мг/кг. Концентрация P_2O_5 200 мг/кг оказалась недостаточной для развития больших клубеньков.

Использование МПГ как базового компонента изучаемой системы «почва-растение» позволяет реализовать «принцип слабого звена» и получить адекватный отклик изучаемой системы на воздействие. Возможно, что негативный эффект высоких доз фосфора отчетливо не проявился на поздних стадиях развития растений, поскольку был нивелирован за период относительно продолжительной экспозиции в полевых условиях.

Заключение. На основе результатов экспериментального тестирования МПГ с различным содержанием KH_2PO_4 можно констатировать, что исследованный ряд концентраций фосфора (рассчитанных по P_2O_5) охватил варианты как стимулирующие развитие растений, так и ингибирующие. Из данных лабораторного и вегетационного фитотестирования следует, что содержание в почвогрунте P_2O_5 выше 800 мг/кг оказывается избыточным и негативно влияет на развитие растений в ранней фазе. Особенно чувствительными оказались индексы развития корневой системы горчицы. Одновременно показано, что *Sinapis alba* L. может накапливать в биомассе большое количество фосфора. Благодаря этой способности горчица белая может быть использована для выноса избытка фосфора из почв и почвогрунтов.

В микрополевым опыте, судя по данным первого года наблюдений, высокие дозы дигидрофосфата калия не проявляют угнетающего действия на зеленую массу трав. Есть основания полагать, что негативный эффект высокого содержания фосфора может проявиться в этих условиях позднее, поскольку лабораторные тест-системы более чувствительны и сигнализируют о неблагоприятном воздействии в опережающем режиме [22, 23]. Наблюдения за развитием многолетних трав в микрополевым опыте продолжаются.

4. Показатели развития тест-культур при разном содержании фосфора в МПГ по данным микрополевого опыта (средние из 4 повторностей)

№ опыта	Культура	Сроки посадки/уборки	Усредненный показатель	Содержание P_2O_5 в МПГ, мг/кг				
				133	200	400	800	1600
1	Газонная травосмесь (ГТС «Sport»)	11.08/26.09	сырая биомасса, г сосуд	30,1	20,5	31,1	22,2	41,2
			высота растения, см	11,3	11,8	11,6	11,4	13,5
2	Люпин узколистный (<i>Lupinus angustifolius</i> L.)	11.08/26.09	сырая биомасса, г сосуд	95,2	88,3	81,5	102,8	102,3
			число клубеньков, шт./раст.	9,5	7,0	10,8	9,5	9,0
			масса клубеньков, г/раст.	1,0	0,8	1,1	1,1	1,6
			высота растения, см	20,3	19,5	18,5	19,3	18,3

Проведенный этап исследований позволяет заключить, что при обосновании нормативов показателей содержания подвижного фосфора (P_2O_5) в почвогрунтах целесообразно принимать во внимание токсические эффекты на начальных этапах развития растений, вызванные концентрациями, превышающими 800 мг/кг P_2O_5 .

Литература:

1. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора. - М.: Сельхозгиз, 1956. - 464 с.
2. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. - М.: Наука, 1966. - 296 с.
3. Соколов А.В. Зафосфачивание почв и последствие фосфорных удобрений // Агрохимия. - 1976. - № 2. - С. 3-5.
4. Касицкий Ю.И. Об оптимальном уровне обеспеченности почв СССР подвижным фосфором // Агрохимия. - 1979. - № 3. - С. 135-151.
5. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. - М.: Наука, 1981. - 242 с.
6. Сокорев Н.С. Повышение содержания подвижного фосфора в черноземах без внесения удобрений // Плодородие. - 2006. - № 4 (31). - С. 22-24.
7. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. - М.: Изд-во Моск. ун-та, - 2002. - 615 с.
8. Никитишен В.И., Курганова Е.В. Плодородие и удобрение серых лесных почв ополей Центральной России. - М.: Наука. - 2007. - 356 с.
9. Никитишен В.И., Личко В.И. Эффективность и продолжительность последствие фосфорного удобрения в агроэкосистемах на серых лесных почвах ополья // Проблемы агрохимии и экологии. - 2008 - № 4. - С. 14-19.
10. Адрианов С.Н., Сушеница Б.А. Роль фосфора в современном земледелии // Плодородие. - 2004. - № 3 (18). - С. 13-16.
11. Титова В.И. Шафранов О.Д., Варламова Л.Д. Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС. - 2005. - 219 с.
12. Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. - 2007. Колос. - 376 с.
13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
14. Минеев В.Г., Егоров В.С. Баланс меди, цинка и марганца в дерновоподзолистой почве с разными уровнями содержания подвижного фосфора // Агрохимия. - 1997, № 8. - С. 5-9.
15. Ермаков А.А., Дышко В.Н. Цинк и медь в агроценозе с разным уровнем обеспеченности подвижным фосфором // Проблемы агрохимии и экологии. - 2008. - № 2. - С. 23-25.
16. Mandal B., Mandal L.N. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the nutrition of lowland rice // Plant Soil. - 1990. - Т. 121, № 1. - Р. 115-123.
17. Р. Мэтьюз. Экология. Понимание экологии вируса. Естественный отбор. В естественных условиях. Сельскохозяйственная практика. Жизнеспособность вируса (Электронный документ) URL: <http://www.viralplant.ru/16.html>
18. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. - М.: Протектор, 2001. - 226 с.
19. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
20. Практикум по агрохимии (под ред. В.Г. Минеева). - М.: Изд. МГУ, 2001. - 688 с.
21. Постников Д.А., Ромодина Л.В., Кузнецов С.В., Щербаков А.Ю. Аккумуляция тяжелых металлов растениями белой горчицы (*Sinapis alba* L.) при внесении осадка сточных вод в почву // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. - 2005. № 3. - С. 39-47.
22. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). - Екатеринбург, УИФ «Наука». - 1994. - 280 с.
23. Терехова В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 1 (91). - С. 88-90.

V.A. Terekhova, D.B. Domashnev, M.A. Kaniskin, A.V. Stepachev

ECOTOXICOLOGICAL EVALUATION OF PHOSPHORUS HIGH CONTENT IN SOIL-GROUND USING TEST-REACTION AT DIFFERENT STAGES OF PLANTS GROWING

Bioassay of the wide range concentration (200-1600 mg/kg P_2O_5) of mobile phosphorus in artificial standard soil-ground were carried out at different stages of growing grass plants under laboratory and field conditions. It was shown that phosphorus didn't affect clearly on green biomass production after 7 weeks of exposure. Simultaneity the acute toxicity of mobile phosphorus at more than 800 mg/kg P_2O_5 was established using the laboratory test-reactions at early stages of plant growing (seedlings).

Keywords: soil-ground, mobile phosphorus, phytoassay, grass, standardization.