

УДК 631.416.

ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО, ЗАГРЯЗНЕННОГО СВИНЦОМ

М.В. Бурачевская, Т.М. Минкина, Т.В. Бауэр, И.П. Лобзенко, В.И. Северина

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

Введение

Рост антропогенного воздействия создает потенциальные экологические риски накопления тяжелых металлов (ТМ) в почвах. Металлы не подвержены биодegradации с течением времени, за счёт чего они способны накапливаться в объектах окружающей среды и нести опасность для разных трофических звеньев [1]. В связи с этим растёт актуальность исследований, изучающих механизмы закрепления ТМ различного рода сорбентами, препятствующими попаданию неорганических поллютантов в растения, грунтовые и поверхностные воды. Помимо этого, сорбенты могут являться дополнительными источниками питательных веществ для растений, а также позволяют удерживать больше влаги в доступной для растений форме [2]. Одними из наиболее эффективных и экологически безопасных сорбентов является биоуголь (биочар). Это пористый богатый углеродом продукт с низкой плотностью, полученный в результате термической обработки органического материала при недостатке или отсутствии кислорода воздуха. Органическая часть биочара представлена слоями ароматических колец, богатых углеродом. Для производства биочара используют отходы разного рода: древесины, стеблей, листьев, шелухи сельскохозяйственных растений. Это значительно удешевляет данный продукт, однако при этом качество получаемого биочара зависит от исходного сырья. Биочар химически инертен и стабилен, имеет высокую абсорбционную способность и огромную пористость. Благодаря данным характеристикам биочар широко известен как эффективное средство для ремедиации загрязнённых почв [3]. Цель работы – изучить влияние внесения биочара на рост и развитие пшеницы мягкой в черноземе обыкновенном при модельном загрязнении Pb.

Объекты и методы

Для изучения влияния загрязнения почвы Pb и эффективности ремедиации загрязнённых почв сорбентом проведен опыт по фитотоксичности с черноземом обыкновенным карбонатным. Почва отобрана на территории Персиановской заповедной степи учхоза «Донское» (Ростовская обл., Октябрьский р-н), неподверженной техногенному воздействию (табл. 1).

Таблица 1. Физические и химические свойства чернозема обыкновенного карбонатного

Физ. глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH	(гидр) оксиды Fe-Mn, %	CaCO ₃ %	NH ₄ ⁺ , мг/100г	P ₂ O ₅ , мг/100г	K ₂ O, мг/100г	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ , cM(+)-кг ⁻¹	EKO, cM(+)-кг ⁻¹
48,1	28,6	6,3	7,3	3,8	0,1	1,6	2,6	33,2	37,0	39,5

В чашки Петри было помещено по 100 г. воздушно-сухой почвы, очищенной от растительных остатков и просеянной через сито с диаметром отверстий 3 мм. Схема опыта включала контроль – почва без внесения поллютантов и сорбентов, варианты с внесением Pb, в виде водных растворов солей нитратов, а также с внесением сорбента в загрязнённые образцы почвы. Исследуемый ТМ является одним из наиболее распространенными поллютантов в почвах юга России, имеет высокую технофильность и используется в различных отраслях промышленности и производства [4]. Используемые дозы поллютанта: 5 и 10 ОДК, соответствуют встречающемуся уровню загрязнения почв импактных зон в Ростовской области [4]. Через 1 месяц инкубации загрязнённой почвы вносили углеродистый сорбент. В качестве сорбента использован биочар из отходов сельского хозяйства (шелухи риса), полученного по авторской технологии. Данный биочар внесён в почву в дозах 1 %, 2,5 % и 5 %. Выбор доз сорбента основан на результатах анализа литературных данных, в которых наиболее часто рекомендуемая доза составляет 1–5 % в зависимости от уровня загрязнения почвы [5–7].

Спустя 10 дней инкубации сорбентов в загрязнённой почве высаживали по 10 растений на чашку Петри. В качестве тест-культуры использовали яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum*) сорта Иргина семейства Мятликовые (*Poaceae*), являющаяся одной из основных зерновых культур, выращиваемых на территории Ростовской области (Российская Федерация входит в тройку ведущих стран мира по производству пшеницы). Семена проращивали в кристаллизаторах между двумя слоями увлажнённой фильтровальной бумаги в термостате при температуре 25 °С. Влажность образцов в течение всего опыта поддерживалась на уровне 60 % от полной полевой влагоёмкости.

Через 72 часа вёлся учёт проросших семян для определения энергии прорастания по ГОСТ 10968–88 [8]. Отбор проб растений проводили по истечению 1 недели с момента посева. Осторожно извлекали растения из чашек Петри и очищали корневую часть от почвы. Измеряли длину корней и стеблей тест-культуры согласно ГОСТ 12038–84 [9]. Схема опыта по фитотоксичности почвы модельного опыта включала варианты: Контроль; Pb 5 ОДК*; Pb 5 ОДК + 1 % биочара; Pb 5 ОДК + 2,5 % биочара; Pb 5 ОДК + 5 % биочара; Pb 10 ОДК; Pb 10 ОДК + 1 % биочара; Pb 10 ОДК + 2,5 % биочара; Pb 10 ОДК + 5 % биочара; *ОДК – ориентировочно допустимые концентрации [10], ОДК Pb – 130 мг/кг.; Всего было заложено 9 вариантов в трехкратной повторности.

Оценка токсичности почвы проводилась по формуле индекса токсичности фактора (ИТФ) [11]. Для оценки токсичности фактора использовалась следующая шкала: VI класс токсичности (стимуляция) – ИТФ >1,10; V (норма) – 0,91 – 1,10; IV (низкая токсичность) – 0,71 – 0,90; III (средняя токсичность) – 0,50 – 0,70; II (высокая токсичность) – <0,50; I (сверхвысокая токсичность) – среда не пригодна для жизни тест-объекта.

Результаты и дискуссия

По результатам опыта установлено, что фитотоксичность чернозема обыкновенного зависит от дозы внесения поллютанта и сорбента. Пшеница, выросшая на незагрязненной почве (контроль), имела высокие посевные качества: показатели энергии прорастания и всхожести составили 97 % и 100 %. На вариантах внесения 5 ОДК Pb снизилась энергия прорастания на 24 %, а всхожесть – на 10 % по сравнению с контрольным вариантом (табл. 2). Показатель энергии прорастания семян по сравнению со всхожестью является более «чувствительным» к загрязнению почвы. С увеличением уровня загрязнения почвы до 10 ОДК Pb увеличивается токсический эффект на посевные качества семян пшеницы: снижается энергия прорастания и всхожесть на 70 % и 47 % по сравнению с контролем. Повышенное содержание ТМ в растительной ткани способно индуцировать различные физиологические, морфологические и биохимические токсические эффекты. ТМ вызывают нарушения в поглощении питательных веществ и транспортировке воды, изменяя азотный метаболизм, снижают фотосинтез, препятствуют росту растений, вызывают окислительный стресс и изменения в структуре клеток и тканей [12].

Наряду со снижением показателей всхожести и энергии прорастания пшеницы мягкой при загрязнении почвы, снижаются и морфометрические параметры тест-культуры. Ингибирование роста корней и побега усиливается по мере увеличения содержания поллютанта в почве (табл. 2). Зафиксировано уменьшение длины корня и высоты побега пшеницы мягкой на 44 % и 28 % при внесении 5 ОДК Pb и на 64 % и 52 % при внесении 10 ОДК Pb по сравнению с контролем. Pb не является микроэлементом, его биологическая роль мало изучена, именно поэтому, он представляет большую опасность [13]. Большое внимание уделяется исследованию применения биочара для ремедиации и восстановления загрязненных почв [14, 15]. Его положительное воздействие чаще всего приписывают иммобилизации поллютантов и уменьшению их биодоступности для почвенных организмов и растений. Результаты опыта по фитотоксичности показали, что эффективность применения биочара зависела от уровня загрязнения, дозы сорбента. В ряде исследований сообщалось о положительных эффектах биочаров при загрязнении любым ТМ, которые уменьшали биодоступность и поглощение поллютантов [16, 17].

На вариантах с загрязнением 5 ОДК Pb выявлена закономерность улучшения посевных качеств и морфометрических параметров пшеницы мягкой при использовании 1 % и 2,5 % биочара, а при 5 % наблюдалась тенденция к снижению роста растений (табл. 2). По всей видимости, это связано с возможной сорбцией питательных веществ и воды в почве, ограничивающей их доступность растениям [2]. С повышением уровня загрязнения Pb до 10 ОДК оптимальной дозой внесения сорбента является 2,5 %, которое благоприятно сказывается на росте и развитии пшеницы мягкой (табл. 2). Аналогичным образом, в исследованиях отмечалось улучшение роста растений при ремедиации загрязненных почв биочаром [16, 18].

Оценка степени токсичности показала, что чернозему обыкновенному карбонатному присвоен класс токсичности V (норма), при загрязнении 5 ОДК Pb повышается класс токсичности до IV (низкая токсичность), с увеличением уровня внесения до 10 ОДК Pb – II классу (высокая токсичность). С внесением 1–2,5 % углеродистого сорбента в загрязненную почву 5 ОДК класс токсичности почвы снижается до V (норма), а при внесении 5 % имеет IV класс (низкая токсичность). На вариантах 10 ОДК ТМ 1 % биочара снижает класс токсичности почвы до III класса (средняя токсичность). Повышение дозы вносимого биочара способствует большему снижению токсичности почв. Так, 2,5–5 % биочара из шелухи риса снижает класс токсичности почвы до IV класса (низкая токсичность) при 10 ОДК Pb. Добавление биочаров для дезактивации воздействия поллютантов на растения оказывало различное влияние на фитотоксичность почвы в зависимости от вида и способа активации биочара, уровня загрязнения и свойств почвы [19, 20].

Таблица 2. Морфобиометрические характеристики пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) при фитотестировании

Варианты опыта	всхожесть	энергия прорастания	длина корней	высота растений
	%		см	
контроль	9,7	9,7	12,4±0,5*	21,5±1,4
Pb 5 ОДК	8,7	7,3	7,0±0,9	15,4±1,8
Pb 5 ОДК+1 % биочара ШР	10,0	9,7	12,8±0,5	21,2±1,4
Pb 5 ОДК+2,5 % биочара ШР	10,0	10,0	12,3±0,6	19,7±1,5
Pb 5 ОДК+5 % биочара ШР	8,7	7,7	11,4±0,8	17,5±1,5
Pb 10 ОДК	5,0	2,7	4,5±0,9	10,3±1,9
Pb 10 ОДК+1 % биочара ШР	7,7	6,0	8,9±0,7	14,7±1,7
Pb 10 ОДК+2,5 % биочара ШР	9,3	8,3	11,9±0,6	19,8±1,5
Pb 10 ОДК+5 % биочара ШР	9,7	9,3	11,8±0,6	20,0±1,4

Таким образом, содержание Pb в почве оказывает негативное влияние на рост и развитие пшеницы мягкой. В целом, использование углеродистого сорбента в искусственно загрязненной почве нивелирует воздействие поллютанта на тест-культуру, снижая класс токсичности почв, что выражено в увеличении длины корней и побегов, а также всхожести и энергии прорастания семян. Добавление 1 % биочара положительно сказывается на росте и развитии растений, что позволяет рекомендовать данную дозу внесения для невысокого уровня загрязнения (5 ОДК), однако при увеличении уровня загрязнения до 10 ОДК, наиболее эффективно внесение 2,5 % сорбента в почву.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 22–76–10054.

Литература

1. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition. – Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 548 p.
2. Zimmerman A.R., Gao B., Ahn M.Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils // Soil Biology and Biochemistry. – 2011. – Vol. 43. – P. 1169–1179.
3. Koptsik G.N. Problems and prospects concerning the phytoremediation of heavy metal polluted soils: A review // Eurasian Soil Science. – 2014. – № 47 (9). – P.923–939.
4. Minkina T., et al. Accumulation and distribution of heavy metals in plants within the technogenesis zone // Environmental Engineering and Management Journal. – 2014. – Vol. 13. – №.5. – P. 1307–1315.
5. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D., Vithanage M., Lee S.S., Ok Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review // Chemosphere. – 2014. – Vol. 99. – P. 19–33.
6. Ali A., Guo D., Zhang Y., Sun X., Jiang S., Guo Z., Zhang Z. Using bamboo biochar with compost for the stabilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in mine-contaminated soils of China // Scientific reports. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 1–12.
7. He Y., Zhou, X., Jiang L., Li M., Du Z., Zhou G., Shao J., Wang X., Xu Z., Hosseini Bai S., Wallace H., Xu C. Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: a meta-analysis // GCB Bioenergy. – 2017. – Vol. 9(4). – P. 743–755.
8. ГОСТ 10968–88 Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания.
9. ГОСТ 12038–84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.
10. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве, 2009. – 10 с.
11. Волкова И.Н., Кондакова Г.В. Экологическое почвоведение: Лабораторные занятия для студентов-экологов (бакалавров): метод. Указания / Сост. И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова. – Ярославль: ЯрГУ, 2002. – 35 с.
12. Fryzova R., Pohanka M., Martinkova P., Cihlarova H., Brtnicky M., Hladky J., Kynicky J. Oxidative stress and heavy metals in plants //Reviews of environmental contamination and toxicology. – Vol. 245. – 2017. – P. 129–156.
13. Asati A., Pichhode M., Nikhil K. Effect of heavy metals on plants: an overview //International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. – 2016. – Vol. 5 (3). – P. 56–66.
14. Kołodziejka D., Krukowska J.A., Thomas P. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon //Chemical Engineering Journal. – 2017. – Vol. 307. – P. 353–363.
15. Mohan D., Sarswat A., Ok Y.S., Pittman Jr. C.U. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—a critical review //Bioresource technology. – 2014. – Vol. 160. – P. 191–202.
16. Younis H., Sundarakani B., Vel P. The impact of implementing green supply chain management practices on corporate performance //Competitiveness Review. – 2016.
17. Zhang J. et al. Carbon science in 2016: Status, challenges and perspectives //Carbon. – 2016. – Vol. 98 (70) – P. 708–732.
18. Rawat J., Saxena J., Sanwal P. Biochar: a sustainable approach for improving plant growth and soil properties //Biochar-an imperative amendment for soil and the environment. – 2019. – P. 1–17.
19. Kołtowski M. et al. Effect of biochar activation by different methods on toxicity of soil contaminated by industrial activity //Ecotoxicology and environmental safety. – 2017. – Vol. 136. – P. 119–125.
20. Beesley L et al. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil // Environmental pollution. – 2010. – Vol.158(6). – P. 2282–2287.