

ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАМА НА РАСТЕНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА (*HELIANTHUS*)

Кузнецов Д.В.¹, Кондаков С.Э.¹, Чурилов Г.И.², Полищук С.Д.³, Колесников Е.А.¹,
Чупрунов К.О.¹, Лёвина В.В.¹, Лейбо Д.В.¹

¹ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИСиС», Москва, Россия (119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4), e-mail: dk@misis.ru

²ГБОУ ВПО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», Рязань, Россия (390026, г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9)

³ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Рязань, Россия (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1)

Исследовано влияние высокодисперсного металлургического шлама на растения подсолнечника. Установлено, что металлургический шлак является весьма биоактивным по отношению к семенам подсолнечника. При внесении в среду обитания растений водного раствора шлама более чем на 30% увеличивается энергия прорастания семян. Наиболее существенно увеличение количества шлама в питательной среде сказывается на длине и массе вегетативных органов подсолнечника. Так, при концентрации в 10% длина корня увеличивается почти в 5 раз, а длина стебля в 2,5 раза по сравнению с контролем. Полученные результаты могут быть использованы при разработке микроэлементных удобрений на основе металлургических шламов, а также при проведении мероприятий по фиторемедиации металлургических отходов.

Ключевые слова: подсолнечник (*Helianthus*), металлургические отходы, тяжелые металлы, фиторемедиация, фитостимулирующий эффект, микроэлементы.

PHYTOSTIMULATING EFFECTS OF METALLURGICAL SLUDGE ON THE SUNFLOWER (*HELIANTHUS*)

Kuznetsov D.V.¹, Kondakov S.E.¹, Churylov G.I.², Polishchuk S.D.³, Kolesnikov E.A.¹,
Chuprunov K.O.¹, Levina V.V.¹, Leybo D.V.¹

¹National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia (119049, Moscow, Leninskiy prospect, 4), e-mail: dk@misis.ru

²Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia (390026, Ryazan, Vysokovoltnaya str., 9)

³Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A.Kostychev, Ryazan, Russia (390044, Ryazan, Kostychev Str., 1)

The impact of fine metallurgical sludge on sunflower plants was studied. Found that metallurgical sludge are highly bioactive in relation to sunflower seeds. In making the habitat of plants aqueous solution sludge by more than 30% increase in germination energy of seeds. The most significant increase in the amount of sludge in the medium affects the length and weight of vegetative parts of sunflower. Thus, at concentration of 10% root length is increased about 5 times, and the length of the stem by 2.5 times compared to the control. The results can be used in the development of microelement fertilizers based metallurgical sludge, and during activities phytoremediation metallurgical waste.

Keywords: sunflower (*Helianthus*), metallurgical waste, heavy metals, phytoremediation, phytostimulating effect, trace elements.

Введение

Высокодисперсные аглодоменные шламы являются одним из основных видов отходов металлургического производства. Несмотря на высокое содержание железа и цветных металлов, их вторичное использование в качестве металлургического сырья затруднено, в связи с чем накопления этих отходов в мире исчисляются сотнями миллионов тонн и продолжают возрастать.

В состав высокодисперсных металлургических шламов входит ряд тяжелых металлов, таких как цинк, медь, титан, никель и др. В физиологических концентрациях тяжелые металлы представляют собой важнейшие микроэлементы, жизненно необходимые для нормального функционирования биосистем. В частности, недостаточное содержание микроэлементов в почве часто приводит к развитию фитопатологии и снижению продуктивности растений.

Так, например, медь, поступающая в клетки в форме иона Cu^{2+} , является составной частью некоторых окислительных ферментов, таких как тирозиназа и акорбатоксидаза, окисляющих соответственно аминокислоту тирозин и витамин С [1]. Среднее содержание меди в растениях 0,2 мг на кг сухой массы. Около 70% всей меди, находящейся в листьях, сосредоточено в хлоропластах и почти половина ее в составе *пластоцианина* – переносчика электронов между фотосистемами. Она входит в состав ферментов, катализирующих окисление аскорбиновой кислоты, дифенолов и гидроксилирование монофенолов – аскорбатоксидазы, полифенолоксидазы, ортодифенолоксидазы и тирозиназы. Два атома меди функционируют в цитохромоксидазном комплексе дыхательной цепи митохондрий. Медь входит в состав нитратредуктазного комплекса и влияет на синтез *легоглобина*. Влияя на содержание в растениях ингибиторов роста фенольной природы, медь повышает устойчивость растений к полеганию. Она также повышает засухо-, морозо- и жароустойчивость. Недостаток меди вызывает задержку роста и цветения, хлороз, потерю тургора и завядание растений. У злаков при недостатке меди не развивается колос, у плодовых появляется суховершинность. При дефиците меди белеют и отмирают кончики листьев, листья и плоды плодовых деревьев покрываются бурыми пятнами [2].

Цинк поступает в растение в форме катиона Zn^{2+} . Его содержание в надземных частях бобовых и злаковых растений составляет 15–60 мг на кг сухой массы. Повышенная концентрация отмечается в листьях, репродуктивных органах и конусах нарастания, наибольшая – в семенах. Цинк входит в состав фермента карбоангидразы, катализирующего реакцию дегидратации гидрата оксида углерода: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, что помогает использованию углекислого газа в процессе фотосинтеза. Кроме того, цинк в качестве кофактора участвует в синтезе растительного гормона – индолилуксусной кислоты – из аминокислоты триптофана. При отсутствии цинка формируются чахлые растения со слабо развитым апикальным доминированием [1].

Цинк необходим для функционирования ряда ферментов гликолиза – гексокиназы, енолазы, триозофосфатдегидрогеназы, альдолазы, а также входит в состав алкогольдегидрогеназы. Активирует карбоангидразу. Участвует в образовании аминокислоты триптофана. Именно с этим связано влияние катионов цинка на синтез

белков, а также фитогормона 3-индолилуксусной кислоты, предшественником которой является триптофан. Подкормка цинком способствует увеличению содержания ауксинов в тканях и активирует их рост.

При дефиците цинка у растений нарушается фосфорный обмен: фосфор накапливается в корнях, задерживается его транспорт в надземные органы, замедляется превращение фосфора в органические формы. При недостатке цинка в растениях уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается количество органических кислот и небелковых соединений азота – амидов и аминокислот. Кроме того, в 2–3 раза подавляется скорость деления клеток, что приводит к морфологическим изменениям листьев, нарушению растяжения клеток и дифференциации тканей. Наиболее характерный признак цинкового голодания – это задержка роста междоузлий и листьев, появление хлороза и развитие розеточности [2].

Никель поступает в растения в виде иона Ni^{2+} , но может также находиться в виде Ni^+ и Ni^{3+} . Роль никеля для высших растений как микроэлемента была доказана недавно. До этого считали никель необходимым микроэлементом многих бактерий. У высших растений никель входит в состав фермента уреазы, который осуществляет реакцию разложения мочевины. Показано, что в растениях, обеспеченных никелем, активность уреазы выше и соответственно ниже содержание мочевины по сравнению с необеспеченными. Никель активирует ряд ферментов, в т.ч. нитратредуктазу и другие, оказывает стабилизирующее влияние на структуру рибосом. Имеются еще и такие элементы, которые усиливают рост лишь определенных групп растений [3].

Микроэлементам, несмотря на их малое количественное содержание в организмах, принадлежит значительная биологическая роль. Помимо общего благоприятного влияния на процессы роста и развития, установлено специфическое воздействие ряда микроэлементов на важнейшие физиологические процессы — например, фотосинтез у растений. Мощное воздействие микроэлементов на физиологические процессы в организме объясняется тем, что они вступают в теснейшую связь с биологически активными органическими веществами — гормонами, витаминами. Изучена также их связь со многими белками и ферментами. Именно указанными взаимоотношениями и определяются основные пути вовлечения микроэлементов в биологические процессы.

В настоящее время твердо установлена связь между микроэлементами и витаминами. Показано, что марганец необходим для образования в ряде растений витамина С (аскорбиновой кислоты), предохраняющего человека и некоторых животных от заболевания цингой. Есть данные, показывающие, что введением марганца можно вызвать образование аскорбиновой кислоты в организме тех видов животных, которые обычно неспособны к

выработке этого витамина. Марганец, по-видимому, нужен и для действия витамина D (антирахитного) и B1 (антиневритного). Намечается связь между микроэлементом цинком и витамином B1. Однако наиболее интересно открытие антианемического витамина B12, недостаток которого в организме приводит к тяжелым формам анемии (злокачественному малокровию). Оказалось, что этот витамин — соединение микроэлемента кобальта и сложной органической группы.

Как известно, многие металлы, преимущественно микроэлементы, в растворах обладают ярко выраженным каталитическим действием, т.е. способны в значительной степени, в сотни тысяч и миллионы раз, ускорять течение химических реакций. Это каталитическое действие микроэлементы проявляют и в живом организме, особенно тогда, когда они вступают во взаимодействие с органическими веществами, содержащими азот.

Максимальную каталитическую активность металлы как таковые или чаще их металлоорганические (органоминеральные) соединения приобретают, вступая в соединения с белками. Именно такое строение имеют многие биологические катализаторы — ферменты. Помимо значительного повышения активности, роль белкового компонента заключается в придании таким соединениям, в основном ферментам, специфичности действия.

При взаимодействии микроэлементов с белковыми компонентами ферментов образуются металлоэнзимы. Состав большой группы металлоэнзимов характеризуется наличием в них металла в качестве стабильного комплекса (железосодержащие ферменты — каталаза, пероксидаза, цитохромы, цитохромоксидаза и др.) [6].

Экспериментальная часть

В качестве тест-объекта при исследовании биологических свойств шлама был выбран подсолнечник.

Подсолнечник – основная российская масличная культура. Пищевую ценность представляет также жмых, остающийся от семян после извлечения из них масла. В жмыхе много белка, содержащего незаменимые аминокислоты. Жмых используют для производства халвы, а также на корм домашним животным. Низкие сорта подсолнечного масла потребляет мыловаренная и лакокрасочная промышленность. Его используют при изготовлении линолеума, клеенки, водонепроницаемых тканей, стеарина, изоляционных материалов и т.п. Наружная кожица семян подсолнечника (лузга), накапливающаяся в большом количестве при производстве сладостей, - сырье для производства этилового спирта, кормовых дрожжей, пластмасс, искусственного волокна. Стебли подсолнечника - сырье для производства бумаги и картона. В большом количестве их используют на топливо. Зола, остающаяся после сжигания стеблей этого растения, - хорошее фосфорно-калийное удобрение. Надземные побеги подсолнечника используют на силос для домашних животных.

Подсолнечник - перекрестноопыляемое растение. Его цветки выделяют много нектара, поэтому растение является ценным медоносом. Подсолнечник ценят как культуру, поглощающую выбросы моторов, - установлено, что на автомагистралях, к которым примыкают посевы этого растения, воздух заметно чище, чем там, где подсолнечник отсутствует.

Культурный подсолнечник является степным экотипом. Способность образовывать глубоко проникающий стержневой корень и придаточные корни из гипокотилия обеспечивает ему устойчивость к засухе и степным ветрам, он отличается также высокой холодостойкостью и экологической пластичностью.

Лучшие почвы для подсолнечника – черноземы (супесчаные и суглинистые), каштановые и наносные почвы заливаемых речных долин при раннем освобождении от полой воды. Заболоченные, кислые, легкие песчаные и солонцеватые почвы, а также участки с избыточным содержанием извести для него малопригодны. Благоприятный для роста растений интервал $pH_{\text{сол}}=6-6,8$.

На образование 1 т семян подсолнечник потребляет: азота – 50-60 кг, фосфора – 20-25 кг, калия – 120-160 кг. Особенно много питательных веществ подсолнечнику требуется в период от образования корзинки до цветения, когда растение энергично накапливает органическую массу. Ко времени цветения подсолнечник поглощает 60% азота, 80% фосфорной кислоты и 90% калия от их общего выноса из почвы за весь период вегетации. На ранних фазах вегетации, когда идет закладка генеративных органов, растения особенно требовательны к фосфорному питанию [4].

Исследовался образец аглодоменного шлама № ДП ЗШН-2, к-2, производства ОАО «Северсталь».

Исследование микроструктуры образца шлама проводилось на электронном сканирующем микроскопе высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия) со спектрометрами и сканирующем электронно-ионном микроскопе Neon 40 (Carl Zeiss, Германия). Пространственное разрешение прибора 2,5 нм, ускоряющее напряжение от 0,3 кВ до 30 кВ, диапазон увеличений от $\times 5$ до $\times 300000$, максимальный размер образца - диаметр до 200 мм, высота до 80 мм, катод LaB₆, безазотный кремний-дрейфовый SDD рентгеновский детектор X-MAX.

Проведенные электронномикроскопические исследования позволили выявить существенные различия в химическом составе крупных и мелких частиц шлама. В частности, при интегральном анализе большого количества частиц шлама концентрация железа достигает 62% масс. Очевидно, что все железо находится в окисленной форме, что указывает на хорошее совпадение с данными рентгеновской дифрактометрии. Содержание цинка

находится на уровне 9,7% масс. Кроме того, в состав шлама входят кремний – 11,24%, кальций – 6,49%, алюминий – 4,54%, сера – 4,4%, калий – 0,67%, никель – 0,48%, титан – 0,22%, хром - 0,08%.

Результаты и обсуждения

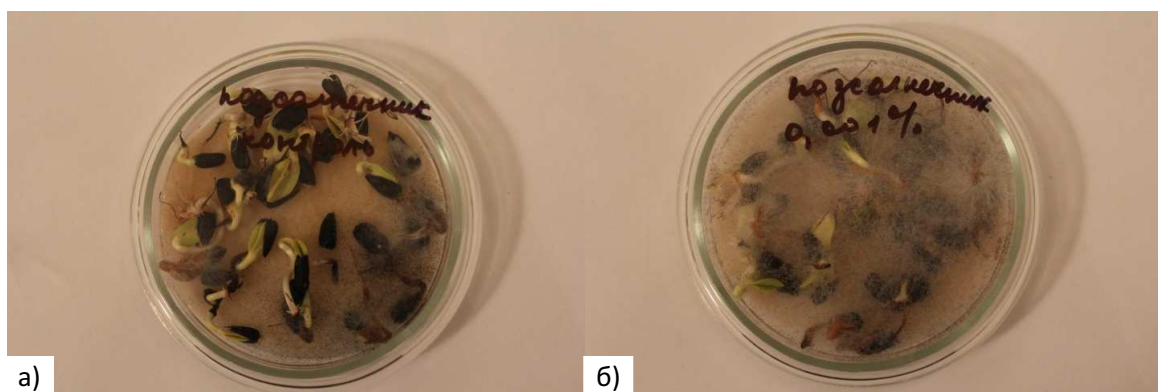
В ходе работы были проведены исследования по изучению влияния компонентов шлама металлургического производства на морфометрические (длина, масса, энергия прорастания, всхожесть) показатели семян растений подсолнечника, проращенных на культивационной среде, содержащей различные концентрации шлама (от 0,001 до 10%) (рис. 1).

Максимальный эффект, стимулирующий увеличение длины корня, наблюдается при концентрации 10%, чуть ниже при 1%. Остальные концентрации практически не оказывают эффекта.

Увеличение длины стебля по сравнению с контролем наблюдается при всех разбавлениях шлама, однако наибольший эффект также проявляется при концентрации – 10%.

Для всхожести и энергии прорастания можно говорить о линейной зависимости, т.е. чем выше содержание шлама в суспензии, тем более наблюдается повышение значений данных показателей. Максимальный эффект прослеживается также при 10%-ном растворе.

Таким образом, отмечен существенный биологический эффект влияния различных концентраций шлама на развитие растений подсолнечника, выражающегося в основном в стимуляции прироста вегетативных органов и набора биомассы. Это согласуется с данными исследования Фомичёва Г.А. [5], в котором показано, что совместное использование азотно-фосфорных удобрений и препаратов на основе микроэлементов дает существенные прибавки урожая семян подсолнечника.



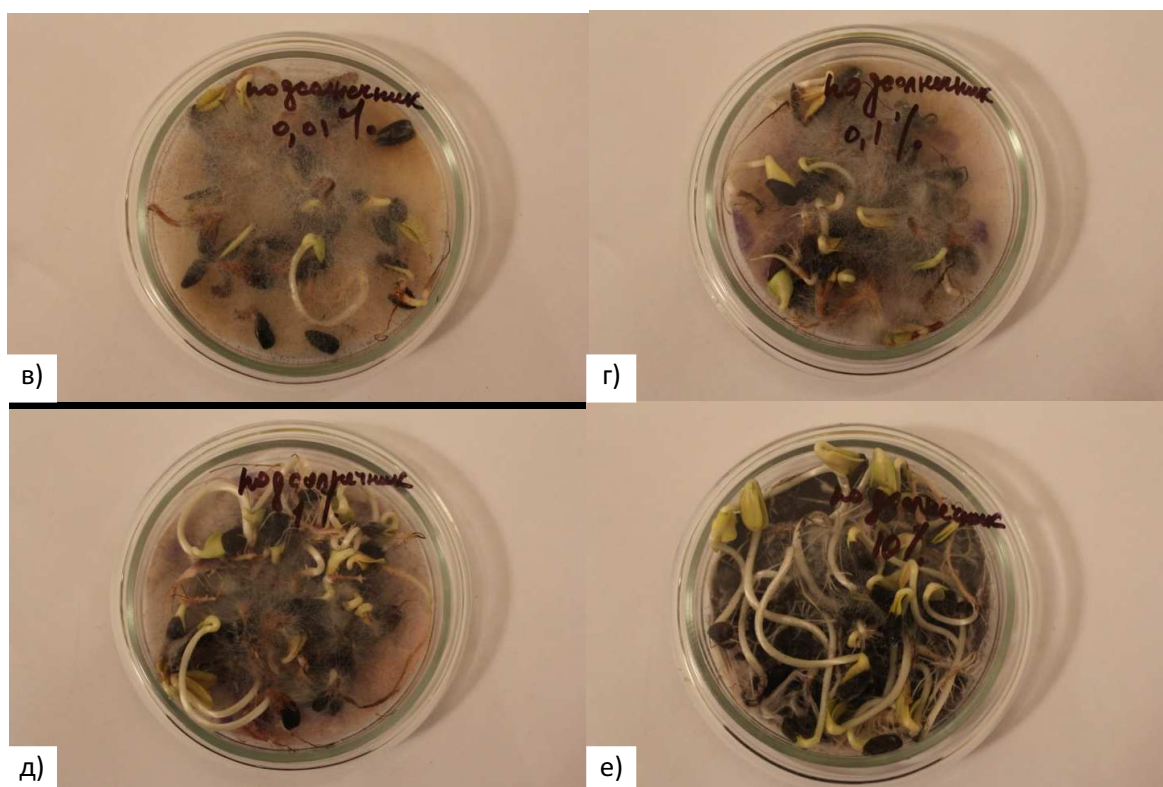


Рисунок 1 - Фото эксперимента, 7-й день

а) контроль; б) 0,001%; в) 0,01%; г) 0,1%; д) 1%; е) 10%.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Влияние различных концентраций металлургического шлама на морфометрические показатели подсолнечника

ПОДСОЛНЕЧНИК	Ср. длина корня, мм	Ср. длина корня, %	Ср. длина стебля, мм	Ср. длина стебля, %	Масса корня, г	Масса стебля, г	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
КОНТРОЛЬ	18,39	100	29,67	100	0,3	3,9	50	60
0.001%	27,22	148,04	34	114,61	0,2	2,1	72	27
0.01%	19,71	107,21	30,86	104,01	0,1	1,5	70	20
0.1%	18,43	100,27	51,28	172,87	0,1	2,1	71	20
1%	47,13	256,31	47,47	160	0,9	4,3	78	47
10%	91,38	496,94	71,43	240,77	2,6	7,4	85	67

Заключение

По результатам проведённого исследования можно заключить, что металлургические шламы являются весьма биоактивными по отношению к семенам подсолнечника. При внесении в среду шламы более чем на 30% увеличивают энергию прорастания семян. Наиболее существенно увеличение количества шлама в питательной среде сказывается на длине и массе вегетативных органов подсолнечника. Так, при концентрации в 10% длина корня увеличивается почти в 5 раз, а длина стебля в 2,5 раза по сравнению с контролем.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке микроэлементных удобрений на основе металлургических шламов, а также при проведении мероприятий по фиторемедиации металлургических отходов.

Работа выполнена при поддержке ГК 14.512.12.0001 от 25.02.2013 г.

Список источников

1. Гэлстон А., Девис П., Сеттер Р. Жизнь зеленого растения. – М. : Мир, 1983. – 552 с.
2. Малиновский В.И. Физиология растений : уч. пособ. – Владивосток : Изд-во ДВГУ, 2004. 106 с.
3. Полевой В.В. Физиология растений. - М. : Высшая школа, 1989. - 464 с.
4. Пустовойт В.С. Подсолнечник. — М. : Колос, 1975. — 591 с.
5. Фомичёв Г.А. Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность подсолнечника на чернозёме южном степного Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2011. - 22 с.
6. Школьник М.Я. и Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. - М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. - 292 с.

Рецензенты:

Ховайло В.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г.Москва.

Серов Г.Н., д.т.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г.Москва.