

Мухамеджанова Д. С.¹, Аксенова И. В.¹, Ильясова Б.Б.², Омаров Р.Т.²

¹ Назарбаев интеллектуальная школа физико-математического направления, Тараз, Казахстан

² Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: mukhamedzhanovadarina192@gmail.com)

Влияние ионообменных сорбентов и золы-уноса на повышение устойчивости растений ячменя (*Hordeum vulgare L.*) в условиях солевого стресса

Аннотация: Способность сорбентов связывать различные вещества стала одной из причин их активного применения в промышленности для фильтрации и очистки технических жидкостей. В настоящей работе с использованием модельной системы ярового ячменя изучен протекторный эффект сорбентов для удаления избытка токсичных солей из среды. В условиях засоления в присутствии сорбентов растения *Hordeum vulgare L.* демонстрировали нормальный рост и развитие, а также умеренную активность альдегидоксидазы, каталазы и супероксиддисмутаза. Было предположено, что ионообменные сорбенты блокируют поступление Na^+ в клетку, за счет поглощения ионов токсичных солей из среды с выделением эквивалентного числа безопасных для растений ионов. Данный механизм обуславливает отсутствие гиперчувствительного ответа у опытных образцов и слабое развитие окислительного стресса. Зола-уноса была использована в качестве мелиоранта в условиях засоления. Опытные образцы так же демонстрировали минимальное угнетение в накоплении сухой массы. Было установлено, что зола-уноса может выступать в качестве перспективного мелиоранта, улучшающего биологическое и химическое состояние почвы деградированных земель.

Ключевые слова: сорбенты, ионообменные смолы, солевой стресс, солеустойчивость, альдегидоксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, *Hordeum vulgare L.*

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-42-52>

Введение. В аридных и полуаридных регионах земного шара широко распространены пятнами солонцы и солончаки. В Республике Казахстан, находящейся в зоне рискованного земледелия, более 41% земель (111,55 млн. га) засолены и не пригодны для возделывания [1, 33 стр.]. Избыточная засоленность почвы, наряду с другими абиотическими факторами, вызывает упадок продуктивности агро-, биоценозов и урожайности сельскохозяйственных культур: потери составляют 33% при слабом засолении, 83% - при сильном, и до 100% при очень сильном засолении [2]. Особенно засоление угнетает рост и развитие гликофитов, к которым относится большая часть сельскохозяйственных культур. Как правило, засоление сопровождается каскадом стрессовых реакций: 1) осмотический стресс: понижение ассимиляции, транспирации; “фотохимическое гашение” [3]. 2) ионный дисбаланс: деполяризация плазмалеммы приводит к утечке K^+ через KOR -каналы и конкуренции между ионами K^+ и Na^+ за поглощение мембранными транспортёрщиками. Аккумуляция Na^+ вызывает выход воды из цитоплазмы ризодермы в среду, из листьев в апопласт [4,430 стр.]. 3) окислительный стресс. Водорастворимые соли, как хлорид натрия (NaCl), в высоких концентрациях стимулируют синтез Активных Форм Кислорода (АФК) [5], способных вызывать окислительное повреждение многих клеточных компонентов: перекисное окисление фосфолипидов, снижение селективности мембраны, нарушение структуры белков, нуклеиновых кислот, деградацию хлорофилла [6]. Солевой стресс оказывает угнетающее воздействие на вегетативные параметры роста растений: сухую массу, высоту растений и площадь листьев. Было установлено, что большинство растений более чувствительны к процессам засоления во время ранних этапов прорастания и появления всходов [7, 159 стр.]. Длительное воздействие солевого стресса приводит к гибели растения [8, 76 стр.]. На данный момент решение проблемы засоленности разделяется на два направления: i) проведение мелиорации и промывного полива на фоне глубокого рыхления (данный метод осложнен развитием сильнозасоленных почв и солонцов в Жамбылской области) [9]; ii)

селекция солеустойчивых растений - крайне сложное направление исследований, так как признак солеустойчивости детерминирован множеством генов (около 8% всех генов), а экспрессия более 25% всех генов, вызывающий неспецифичный комплексный ответ на засоление, зависит от концентрации солей [4,444 стр.]. Способность сорбентов связывать различные вещества стала одной из причин их активного применения в промышленности для фильтрации и очистки технических жидкостей [10]. Сорбенты — твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие из окружающей среды определенные вещества. По характеру сорбции подразделяются на: 1) абсорбенты; 2) адсорбенты (разветвленная пористая поверхность обеспечивает поглощение веществ на разделе твердой и жидкой фаз) [11]; 3) ионообменные смолы (иониты; IXR) - сорбируют ионы одного типа с выделением в раствор эквивалентного числа ионов другого типа. Особый интерес вызывает деминерализации морской воды с применением ионитов (с замещением ионов NaCl на Ca(OH)₂) [12], а также гранул активированного угля для удаления Cl⁻ и органических загрязнителей [13]. В ряде исследований было установлено, что адсорбционными свойствами активированного угля присуще золе-уноса, где содержания углерода достигает до 60% от общей массы [14]. Помимо этого, зола-уноса способна выступать в качестве мелиоранта для улучшения свойств деградированных почв. Добавления золы-уноса повышает водозадерживающую способность почвы, улучшает ее текстуру, нормализует кислотность среды [15]. Естественное выщелачивание золы-уноса снижает концентрацию в ней растворимых солей и примесей для последующего ее применения в сельском хозяйстве [16]. Однако перспектива применения свойств сорбентов для поглощения из почвы низкомолекулярных соединений, как ионов водорастворимых токсичных солей, изучена слабо. Возможность применения ионитов и адсорбентов для снижения засоленности прежде не рассматривалась в сельскохозяйственной отрасли, что инициирует проведение исследования в данном направлении.

Материалы и методы

Исследование проводилось на семенах ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) сорта Леон.

Очистка ионообменных сорбентов

В качестве сорбирующего объекта были использованы два вида сорбентов-ионитов: синтетический органический Macro-Prep DEAE [17], неорганический Гидроксиапатит [Ca₅(PO₄)₃(OH)₂] [18, 19]. Подготовка сорбентов включала очищение от буфера. Macro-Prep DEAE очищался от антимикробного агента - этанола, Bio-Gel HT Гидроксиапатит очищался от буфера 10 mM фосфата натрия, содержащего в себе 0.02% NaN₃.

Стерилизация семян

Семена подвергли поверхностной стерилизации с некоторыми модификациями в 20% растворе перманганата калия (KMnO₄).

Метод проращивания семян. Семена проращивались в Чашках Петри (20 семян на чашку Петри) на смоченной дистиллированной водой фильтровальной бумаге. В каждую чашку Петри добавляли по 5 мл суспензии сорбентов. Семена проращивали в термокамере при 23 ± 2 °С. Проросшие семена подсчитывались каждые 10 часов. Семя считалось проросшим, если корешок (radicle) достигал 1.5 мм (Come, 1970). Эксперимент продолжался до появления всходов в течение 14 дней. Для создания условий хлоридно-натриевого засоления был выбран раствор 150 mM NaCl.

Определение активности ферментов в неденатурирующих условиях. Для вертикального электрофореза в полиакриламидном геле в неденатурирующих условиях (нативный гель-электрофорез) гомогенизация образцов проводилась на льду в буфере для экстракции, содержание и массовое соотношение которого на 20 мл: 250 mM сахарозы 1,712 г, ЭДТА 70 мг, L-цистеина 12 мг, 1 M Трис-HCl pH=8,5, 0,1 мл раствора молибдена, 12 мг 1,4-дителиотреитола, 40 мкл пепстатина, 40 мкл А протеинаина. Для получения экстракта пробирки были перенесены в центрифугу. Осаждение производилось при температуре 4 °С, 25 минут при 10 000 об/мин. Супернатант был перенесен в новые пробирки, образцы хранились при температуре -20 °С. Был проведен нативный гель электрофорез белков (в неденатурирующих условиях). 7,5% разделяющий и концентрирующий гели готовились из стоковых растворов. Необходимый pH доводился кислотами, присутствующими в составе буфера. Вертикальный электрофорез

проводился в камере производства компании BioRad модели Mini-PROTEAN System. Перед внесением образцов в лунки был проведен предварительный электрофорез в целях удаления остатков ПСА.

Определение ферментативной активности альдегидоксидазы. После окончания нативного ПААГ – электрофореза для определения ферментативной активности альдегидоксидазы гель промывался в дистиллированной воде, затем инкубировался в субстрате при температуре 37 °С в течение 40 минут. 25 мл раствора субстрата содержал 2,5 мл 50мМ ТРИС-НСl pH=7,4; 10 мг индол-3-альдегида, 6 мг тиазолилового синего тетразолий бромида и 1 мг феразин метосульфата.

Определение ферментативной активности каталазы. Для определения ферментативной активности каталазы готовились субстраты в двух емкостях, включающих 2% хлорида железа и 2% феррицианида калия соответственно. Гель промывался в дистиллированной воде, инкубировался в растворе, содержащем перекись водорода и в данных субстратах до выделения бесцветных полос.

Определение ферментативной активности супероксидсмутазы. Для определения *in gel* активности супероксидсмутазы использовался специфичный для данного фермента субстрат в составе которого содержался 0,1% раствор нитросинего тетразоля. Далее гель инкубировался в 0,1М натрий-фосфатном буфере (pH 7,0) с содержанием 28 мМ рибофлавина и 28 мМ ТЕМЕД-а в течение 15 минут. Активность измерялась по ингибированию фотохимического восстановления NBT.

Small-scale field trials & Large-scale field trials (Маломасштабные и крупномасштабные полевые испытания)

В small-scale- & large-scale field trials исследовали появления всходов: 50 семян высевали в универсальный грунт (азот ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$), фосфор (P_2O_5), калий (K_2O), массовая доля влаги не более 65%, pH 6,5) на глубину 0.5-1 см в пластиковые лотки, покрытые прозрачной полиэтиленовой пленкой. Каждые 3-4 дня растения орошали 150 мМ, 250 мМ растворами NaCl в течение 14 дней. Один лоток считался за одну повторность. Было проведено 5 повторности для каждого вида field trials.

Статистический анализ данных. Статистический анализ данных проводился в программном обеспечении JMP (from SAS) и Microsoft Excel. Использованные методы оценки гипотезы: Oneway ANOVA. Полученные результаты представлены на рисунках в виде средней арифметической со стандартной ошибкой. Для сравнения независимых выборок, подчиняющихся закону нормального распределения, использовали параметрические тесты: Student's t-test, Dunnett test with Control. Значения t-критерия Стьюдента находили для 95% уровня значимости ($p < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Влияние 150 NaCl и ионитов на рост ярового ячменя. Интенсивное хлоридное засоление (150 мМ NaCl) подавляло рост и развитие ячменя во время прорастание и появления всходов. Всхожесть семян ярового ячменя в условиях засоления уменьшилась на 51% по сравнению с контролем (рис.1). Образцы, обработанные Macro-Prep DEAE (MP) и Гидроксипатитом (HA), демонстрировали всхожесть 85 и 95% от контроля.

Хлоридное засоление оказывало негативный эффект на скорость прорастания семян. Наблюдалось торможение роста засоленных образцов на 50% по сравнению с контролем (рис.2). Засоление оказывало минимальный эффект на скорость прорастания обработанных MP и HA образцов, показатели незначительно отличаются от контроля.

Было установлено угнетение роста ячменя в условиях солевого стресса (рис. 3,4).

Ростовые показатели уменьшились на 35% для побегов и на 25% для корней по сравнению с контролем. Сорбенты (MP; HA) заметно снижали степень ингибирования роста растений (рис.5,6). Так, рост стебля полностью восстанавливался ко второй недели, составляя: 98% от контроля для MP, 85% для HA (рис. 6). Сами MP и HA несколько ингибировали скорость прорастания семян (рис.2), а также длину корней и побегов 14-дневных проростков (рис.6), что предположительно связано с резким изменением водного потенциала среды.

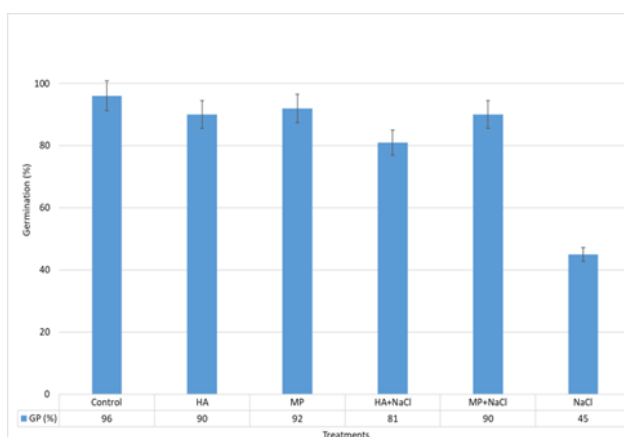


Рисунок 1 – Влияние ионитов МР, НА и 150mM NaCl на общую всхожесть семян ячменя в течение 7 дней

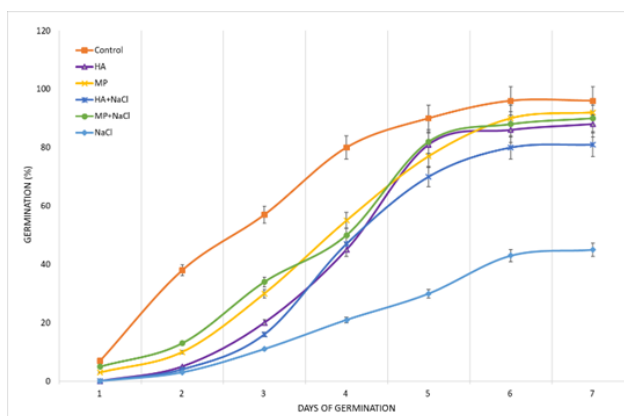


Рисунок 2 – Влияние ионитов МР, НА и 150 mM NaCl на скорость прорастания семян ярового ячменя в соответствующий день в течение 7 дней наблюдения



Рисунок 3 – Влияние ионитов и 150 mM NaCl на длину корней ярового ячменя

- 1 Контроль
- 2 НА
- 3 МР
- 4 НА+NaCl
- 5 МР+NaCl
- NaCl

Влияние 150 NaCl и ионитов на активность альдегидоксидазы и интенсивность окислительного стресса. Альдегидоксидаза - молибдо-железо-флавофермент, катализирующий окисление альдегидов в карбоксильные кислоты [20]. Фермент участвует в биосинтезе абсцизовой кислоты в растениях [21]. Альдегидоксидаза представляет собой цитозольный фермент с молекулярной массой 300 кДа. АО непосредственно участвует в

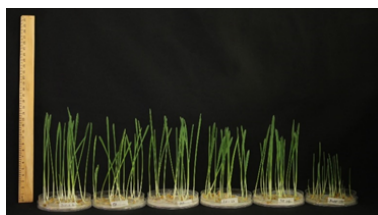


Рисунок 4 – Влияние ионитов и 150 mM NaCl на высоту стеблей ярового ячменя

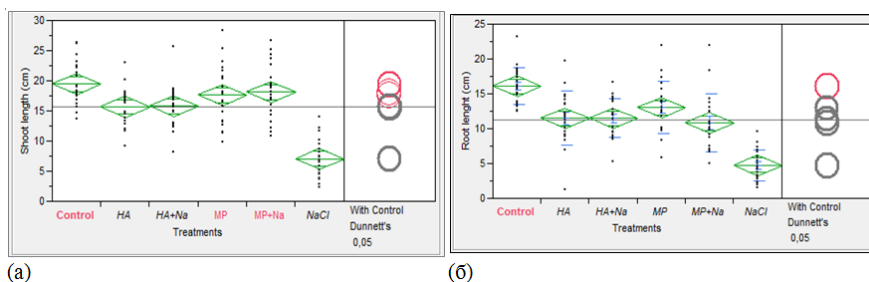


Рисунок 5 – Влияние ионитов MP, HA и 150mM NaCl на длину побегов(а) и корней(б) ярового ячменя после 14-дневного засоления (n=600, Dunnett Test; p < 0.001)

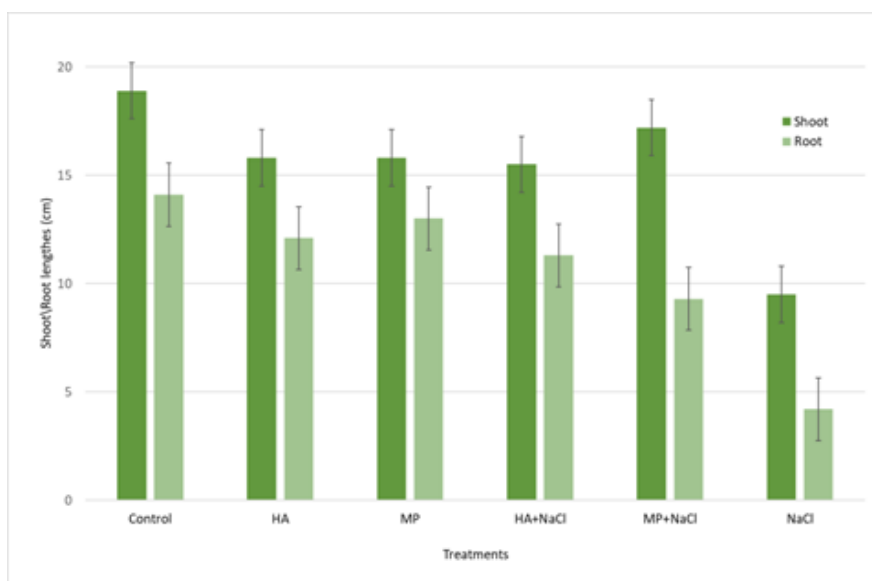


Рисунок 6 – Влияние ионитов MP, HA и 150mM NaCl на длину корней и побегов ярового ячменя после 14 дней засоления

синтезе фитогормонов. Ранее изучалось участие альдегидоксидазы в адаптации растений к абиотическим стрессовым факторам [22, 23] и в производстве H_2O_2 в растениях [24]. Были обнаружены антиоксидантные ферменты КАТ, СОД и АО в результате гель-электрофореза экстрактов корней ячменя (Рис. 9,10,11).

В условиях солевого стресса наблюдается существенное повышение ферментативной активности АО. Напротив, активность АО в растениях, обработанных сорбентами, не демонстрирует значительного ответа в условиях солевого стресса (Рис. 9). Каталаза является одним из антиоксидантных ферментов и регулирует содержание перекиси водорода. Активность измерялась *in gel* – электрофорез в неденатурирующих условиях. В растении, обработанном 150 mM NaCl, происходит значительное увеличение активности каталазы. Продемонстрирована умеренная активность фермента СОД, но также стоит отметить незначительное понижение активности в растениях, обработанных раствором NaCl.

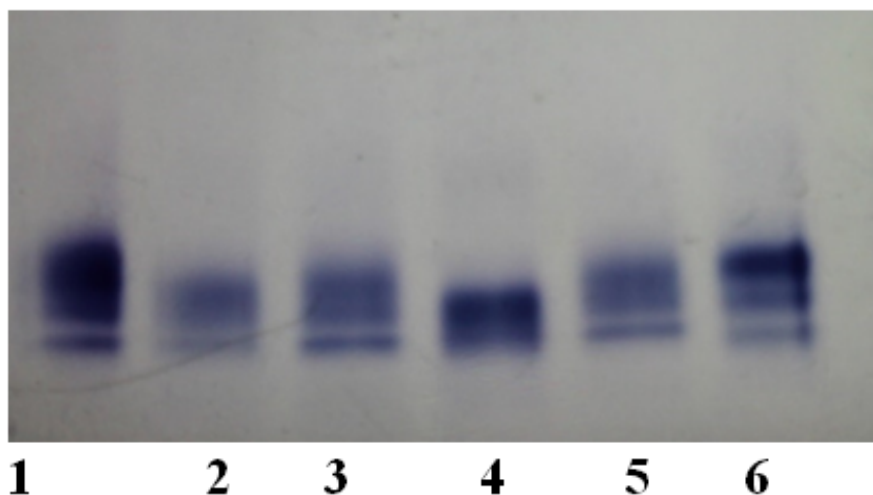


Рис.9. Ферментативная активность

АО в корнях ярового ячменя
Контроль
Гидроксиапатит
Macro-Prep (ion exchange media)
Гидроксиапатит +NaCl
Macro-Prep +NaCl
150 mM NaCl

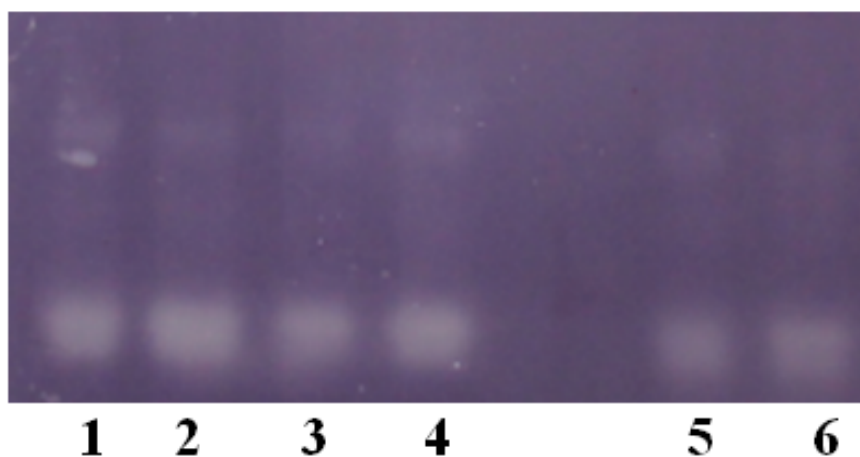


Рис.10. Ферментативная

активность СОД в корнях ярового ячменя

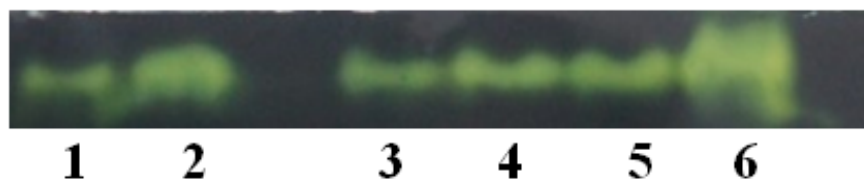


Рис.11. Ферментативная

активность АО в корнях ярового ячменя

Иониты способны производить ионнообменные реакции как с большими, так и с малыми молекулами посредством поглощения и пористой структуры. Ионообменные сорбенты блокируют поступление Na^+ в клетку за счет поглощения ионов токсичных солей из среды с выделением эквивалентного числа безопасных для растений ионов. Ввиду отсутствия избыточности ионов Na^+ в клетке, наблюдалась умеренная активность антиоксидантных ферментов и альдегидоксидазы в опытных образцах.

Small-scale field trials (Маломасштабные полевые испытания)

Зола-уноса – легкая фракции угольной золы, представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий, как правило, из частичек размером от долей микрона до 0,14 мм. Зола-уноса очень близка по физическим свойствам и химическому составу к вулканическому пеплу, что делает ее уникальным удобрением для деградированных почв [25].

Для оценки влияния золы-уноса на проросшие семена в условиях засоления, приближенных к полевым, были проведены маломасштабные опыты (small-scale field trials) в разделенных ячеечных лотках на почвенном субстрате. Мониторинг последующего роста ярового ячменя включал исследование общего состояния растений и показателя сухой массы. Концентрация хлоридного засоления была приближена к максимуму (250 mM NaCl).

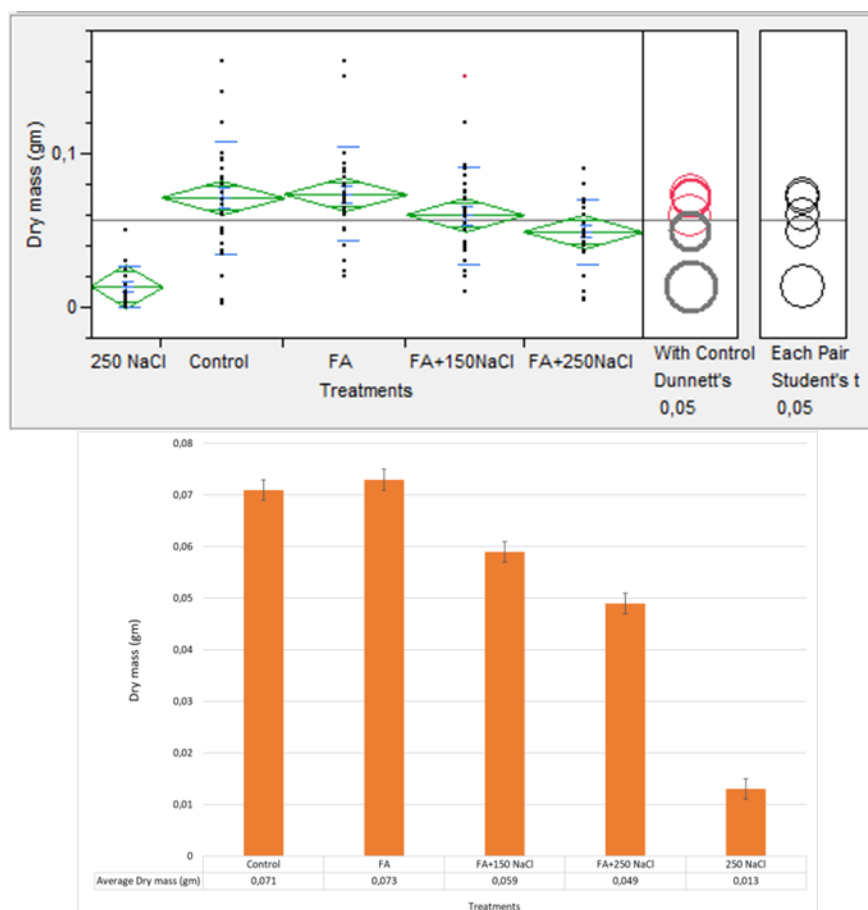


Рис.12. Влияние золы-уноса и 250 mM NaCl на накопление ярового ячменя после 15 дней обработки (n=1060, Dunnett test; Students T-test; p < 0.001)

Интенсивное хлоридное засоление (250 mM NaCl) негативно влияет на накопление сухой массы опытных образцов: сухая масса засоленного образца снизилась на 82% по сравнению с контролем (рис. 12). Было обнаружено, что применение золы-уноса в условиях солевого стресса способствует накоплению сухой массы. С добавлением золы-уноса показатели образцов в отсутствие засоления (FA), и в условиях засоления (FA+150 NaCl; FA+250 NaCl) составляют 98%, 83% и 70% от контроля соответственно. Было установлено, что зола-уноса оказывает положительное влияние на рост посевов ячменя (+6% длины, +2% сухой массы) в условиях отсутствия засоления (FA). За счет низкого удельного веса золы-уноса сухая плотность почвы уменьшилась на 15-20%.

Large-scale field trials (Крупномасштабные полевые испытания)

Были проведены крупномасштабные полевые испытания с увеличением объема выборки (Large-scale field trials) для выявления дополнительных статистически значимых различий.

Второе исследование проводилось в крупных масштабах и изучало возможные способы обработки семян ярового ячменя золой-уноса для использования в промышленных условиях. Взвесь золы-уноса массой 15 г смешивалась с почвой каждого лотка перед посевом.

Предварительно перед проращиванием семена замачивались в дистиллированной воде, затем были помещены в темное теплое место на 3-4 часа. После набухания семена были перенесены на увлажненную почву для проращивания в лоток объемом 800 мл. Растения выращивались в теплице в условиях 16-часового фотопериода (16 ч. - дневной/ 8 ч. - ночной) при относительной влажности воздуха 75-80%. Средняя температура днем – 25 °, ночью - 22°. Для освещения теплицы использовались лампы Есop 4200К, 230V. Для поддержания одинаковых условий освещения растения переставлялись местами каждые 3 дня.

При засолении 250 mM NaCl сухая масса была снижена на 65% по сравнению с контролем (рис. 13). Зола-уноса при 150 mM NaCl дала наиболее успешный результат по накоплению сухой массы и роста в высоту: увеличение на 8% в сравнении с контролем. Показатели Контроля и 150 NaCl+FA статистически незначительно отличаются (рис. 13). Зола-уноса при 250 mM NaCl привела к увеличению сухой массы в 1.5 раз по сравнению с 250 mM NaCl. Скорость прорастания семян и длина корней была увеличена на 5% соответственно.

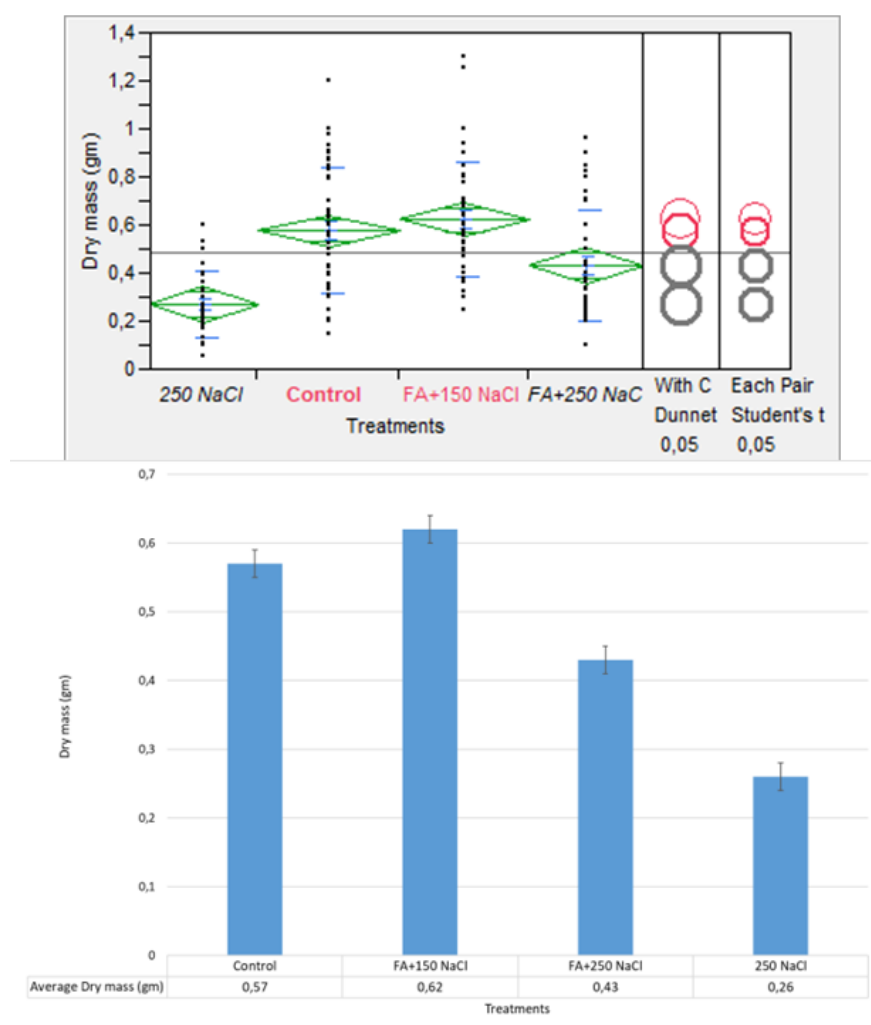


Рис.13. Влияние золы-уноса и 250 mM NaCl на накопление сухой массы ярового ячменя после 15 дней обработки (n=3180, Dunnett test; Students T-test; p < 0.001)

Заключение. Была выявлена способность ионообменных сорбентов (Macro-Prep DEAE; Hydroxyapatite) связывать ионы токсичных водорастворимых солей, блокируя их поступление в клетку растений. При засолении в 150 mM NaCl наблюдалось снижение скорости прорастания, общей всхожести, длины корней и побегов всходов. Вегетативные параметры роста обработанных образцов статистически не отличаются от контроля, что свидетельствует о нормальном росте и развитии растения в присутствии ионитов. Small-scale и large-scale field trials демонстрировали положительное влияние золы-уноса при 250 mM NaCl на накопление сухой

массы ярового ячменя. Обработанные образцы статистически не отличаются от контроля. Наблюдалось улучшение биологического и химического состояния почвы в условиях засоления.

Список литературы

- 1 Боровский В.М. Формирование засоленных почв и галогеохимические провинции Казахстана / В. М. Боровский. - Алма-Ата, Наука, 1982- 254 с.
- 2 Широкова Ю. И., Морозов А. Н. Экологические проблемы засоленных орошаемых земель [Электронный ресурс]. – URL: <http://water-salt.narod.ru/eko-prob-z-z-uz.htm> (дата обращения 15.06.2018)
- 3 Трухина, Ю. О., Шайбе, Р., Епринцев, А. Т. Влияние солевого стресса на основные физиолого-биохимические параметры растений картофеля // Вестн. ВГУ. Серия: Химия, Биология, Фармация. – 2000. – №2. – С.138-143.
- 4 Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений / Н. П. Битюцкий. - Санкт-Петербург: Изд. дом С.-Петербургского гос. ун-та, 2014. – 538 с.
- 5 Schmitt, F. J., Renger, G., Friedrich, T., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Los, D. A., Allakhverdiev, S. I. Reactive oxygen species: re-evaluation of generation, monitoring and role in stress-signaling in phototrophic organisms // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. – 2014. – vol. 1837. – P. 835-848.
- 6 Nunez, M., Mazzafera, P., Mazorra, L. M., Siqueira, W. J., Zullo, M. A. T. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl // *Biologia Plantarum*. – 2003. – vol. 47. – P. 67-70.
- 7 Ashraf M. A., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M., Arif, M. S. Environmental stress and secondary metabolites in plants: an overview // *Plant metabolites and regulation under environmental stress*. – Academic Press, 2018. – P. 153-167.
- 8 Яковец, О.Г. Фитофизиология стресса: курс лекций / О. Г. Яковец. – Минск БГУ, 2010. – 103 с.
- 9 Карпенко Н. П., Сейтказиев А.С., Маймакова А.К. Экологическая оценка деградации сероземно-луговых почв Жамбылской области // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2016. - №12(54) - С.132-135.
- 10 Lygina, T. Z., Mikhailylova, O. A., Khatsrinov, A. I., Konyukhova, T. P. Technology of chemical activation of inorganic natural mineral sorbents: monograph // *Kazan: Kazan State Technol. University*. – 2009.
- 11 Bansal R. C., Goyal M. Activated carbon adsorption. – CRC press, 2005, P.520
- 12 Popper K., Bouthilet R. J., Slamecka V. Ion-exchange removal of sodium chloride from water with calcium hydroxide as recoverable regenerant // *Science*. – 1963. – vol. 141. – P. 1038-1039.
- 13 Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D. Coupling granular activated carbon adsorption with membrane bioreactor treatment for trace organic contaminant removal: Breakthrough behaviour of persistent and hydrophilic compounds // *Journal of environmental management*. – 2013. – vol. 119. – P. 173-181.
- 14 Wang S., Ma Q., Zhu Z. H. Characteristics of coal fly ash and adsorption application // *Fuel*. – 2008. – vol 87.– P. 3469-3473.
- 15 Kene, D. R., Lanjewar, S. A., Ingole, B. M., Chaphale, S. D. Effect of application of fly ash on physico-chemical properties of soils // *Journal of Soils and Crops*. – 1991. – vol. 1. – P. 11-18.
- 16 Kishor P., Ghosh A. K., Kumar D. Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity // *Asian Journal of Agricultural Research*. – 2010. – vol. 4. – P. 1-14.
- 17 Levison P. R. et al. Performance comparison of low-pressure ion-exchange chromatography media for protein separation // *Journal of Chromatography A*. – 1997. – vol. 760. – P. 151-158.
- 18 Liu G. et al. Copper doping improves hydroxyapatite sorption for arsenate in simulated groundwaters // *Environmental science & technology*. – 2010. – vol. 44. – P. 1366-1372.
- 19 Fihri, A., Len, C., Varma, R. S., Solhy, A. Hydroxyapatite: A review of syntheses, structure and applications in heterogeneous catalysis // *Coordination Chemistry Reviews*. – 2017. – vol. 347. – P. 48-76.
- 20 Hell R., Mendel R. R. (ed.). *Cell biology of metals and nutrients*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- 21 Бабенко ОН. // < Molibdofermenty-I-Ih-Biologycal-Rol.Pdf >
- 22 Omarov R. T., Sagi M., Lips S. H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) by nitrogen source and salinity // *Journal of Experimental Botany*. – 1998. – vol. 49. – №. 322. – P. 897-902.
- 23 Zdunek-Zastocka E., Omarov RT., Koshiba T., Lips HS. Activity and protein level of AO isoforms in pea plants (*Pisum sativum* L.) during vegetative development and in response to stress conditions // *Journal of experimental botany*. – 2004. – vol. 55. – №. 401. – P. 1361-1369.
- 24 Yesbergenova Z., Yang G., Oron E., Soffer D., Fluhr R., Sagi M. The plant Mo²⁺hydroxylases aldehyde oxidase and xanthine dehydrogenase have distinct reactive oxygen species signatures and are induced by drought and abscisic acid // *The Plant Journal*. – 2005. – vol. 42. – №. 6. – P. 862-876.
- 25 Исхаков Х. А., Счастливец Е. Л., Кондратенко Ю. А. Зола уноса в качестве компонента почвенного субстрата // *Экология и промышленность России*. – 2009. – №. 3. – С. 17-18.

Д.С.Мухамеджанова¹, И.В.Аксенова¹, Б.Б.Ильясова², Р.Т.Омаров²

¹ Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Тараз, Қазақстан

² Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ион алмасушы сорбенттердің және көмір күлінің арпа өсімдіктерінің (*Hordeum vulgare* L.) тұз күйзелісі жағдайларындағы төзімділігіне әсері

Аннотация. Сорбенттердің әрқелкі заттарды бір-біріне қосу қабілеті оларды өнеркәсіптегі фильтрация және техникалық сұйықтықтарды тазалау үрдістерінде қарқынды қолданылуының себебі болып табылады. Қазіргі шақта, көктемгі арпа өсіру модельді жүйесі қолданыла отырылып, сорбенттердің ортадан артық зиянды тұздарды жою, яғни, қорғаныс эффектісі зерттелді және дәлелденді. Тұздалған ортада сорбенттердің қатысуымен, *Hordeum vulgare* L. өсімдігі қалыпты өсуі мен дамуын, альдегидоксидаза, каталаза және супероксиддисмутазаның шамалы белсенділігін көрсетті. Ион алмасушы сорбенттер зиян тұздардың иондарын сіңіріп ғана қоймай, өсімдіктерге сіңірілген иондардың санымен бірдей мөлшерде өсімдіктерге зиянсыз иондар бөлу арқылы Na^+ -тың жасушаларға өтуін болдырмайды деген болжам қалыптасқан еді. Бұл механизм тәжірибелі үлгілерден қатты сезімтал жауаптың жоқ болуын және тотығу күйзелісінің әлсіз болуын түсіндіреді. Көмір күлі тұздану жағдайларында мелиорант ретінде қолданылған. Тәжірибелі үлгілер құрғақ салмақ жинаудан минималды қиыншылық көрсетті. Көмір күлі деградацияға ұшыраған жерлердің топырағының биологиялық және химиялық жағдайын жақсарту алатын, перспективалы мелиорант ретінде бола алатындығы қорытындыланды.

Түйін сөздер: сорбенттер, ион алмасушы шайыр, тұз күйзелісі, тұзға төзімділік, альдегидоксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, *Hordeum vulgare* L.

D.Mukhamejanova¹, I.V.Axyonova¹, B.B.Ilyassova², R.T.Omarov².

¹ Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Taraz, Kazakhstan

² L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Effect of ion-exchange sorbents and fly ash on increasing the tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress

Abstract. The sorbents' ability to bind other substances has become one of the reasons for their active use for filtration and purification of industrial liquids. In this paper, using a model system of barley, the protective effect of sorbents for removing excess toxic salts from the medium was studied. Under saline conditions in the presence of sorbents, plants of *Hordeum vulgare* L. showed normal growth and development, as well as moderate activity of aldehydeoxidase, catalase and superoxidismutase. It was assumed that ion-exchange sorbents block the flow of Na^+ into the cell by absorbing the ions of toxic salts from the medium with the release of an equivalent number of plant-safe ions. This mechanism causes the absence of a hypersensitive response in experimental samples and weak development of oxidative stress. Fly ash was used as ameliorant in saline conditions. Emerged barley samples also showed minimal inhibition in the accumulation of dry mass. It was found that fly ash can act as a promising ameliorant that improves the biological and chemical state of the degraded soils.

Keywords: sorbents, ion exchange resins, salt stress, salt stability, aldehyde oxidase, catalase, superoxide dismutase, *Hordeum vulgare* L.

References

- 1 Borovskij V.M. Formirovanie zasolennyh pochv i halogeoхимические провинции Казахстана [The formation of saline soils and halogeochemical province of Kazakhstan] (Nauka, Almata, 1982)
- 2 Shirokova Ju. I., Morozov A. N. Jekologicheskie problemy zasoljennyh oroshaemyh zemel' [Environmental problems of saline irrigated lands]. Available at: <http://water-salt.narod.ru/eko-prob-z-z-uz.htm> (assessed 15.06.2018)
- 3 Truhina, Ju. O., Shajbe, R., Eprincev, A. T. Vlijanie solevogo stressa na osnovnye fiziologo-bioхимические параметры растениj kartofelja [Effect of salt stress on the main physiological and biochemical parameters of potato plants], Vestn. VGU. Serija: Himija, Biologija, Farmacija [Bulletin of the Voronezh state University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], (2), 138-143 (2000). [in Russian]
- 4 Bitjuckij N.P. Mineral'noe pitanie rastenij [Mineral nutrition of plants] (SPBGU, Saint Petersburg, 2014)
- 5 Schmitt, F. J., Renger, G., Friedrich, T., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Los, D. A., Allakhverdiev, S. I. Reactive oxygen species: re-evaluation of generation, monitoring and role in stress-signaling in phototrophic organisms //Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. – 2014. – vol. 1837. – P. 835-848.
- 6 Nunez, M., Mazzafera, P., Mazorra, L. M., Siqueira, W. J., Zullo, M. A. T. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl //Biologia Plantarum. – 2003. – vol. 47. – P. 67-70.
- 7 Ashraf M. A., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M., Arif, M. S. Environmental stress and secondary metabolites in plants: an overview //Plant metabolites and regulation under environmental stress. – Academic Press, 2018. – P. 153-167.
- 8 Jakovec, O.G. Fitofiziologija stressa: kurs lekcij [Phytophysiology of stress: a course of lectures] (BSU, Minsk, 2010)
- 9 Karpenko N.P., Sejtkaev A.S., Majmakova A.K. Jekologičeskaja ocenka degradacii serozemno-lugovyh pochv Zhambylskoj oblasti [Environmental assessment of degradation of gray-earth-meadow soils of Zhambyl region], Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal], 12(54), 132-135 (2016). [in Russian]

- 10 Lygina, T. Z., Mikhaylova, O. A., Khatsrinov, A. I., Konyukhova, T. P. Technology of chemical activation of inorganic natural mineral sorbents: monograph //Kazan: Kazan State Technol. University. – 2009.
- 11 Bansal R. C., Goyal M. Activated carbon adsorption. – CRC press, 2005, P.520
- 12 Popper K., Bouthilet R. J., Slamecka V. Ion-exchange removal of sodium chloride from water with calcium hydroxide as recoverable regenerant //Science. – 1963. – vol. 141. – P. 1038-1039.
- 13 Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D. Coupling granular activated carbon adsorption with membrane bioreactor treatment for trace organic contaminant removal: Breakthrough behaviour of persistent and hydrophilic compounds //Journal of environmental management. – 2013. – vol. 119. – P. 173-181.
- 14 Wang S., Ma Q., Zhu Z. H. Characteristics of coal fly ash and adsorption application //Fuel. – 2008. – vol 87.– P. 3469-3473.
- 15 Kene, D. R., Lanjewar, S. A., Ingole, B. M., Chaphale, S. D. Effect of application of fly ash on physico-chemical properties of soils //Journal of Soils and Crops. – 1991. – vol. 1. – P. 11-18.
- 16 Kishor P., Ghosh A. K., Kumar D. Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity //Asian Journal of Agricultural Research. – 2010. – vol. 4. – P. 1-14.
- 17 Levison P. R. et al. Performance comparison of low-pressure ion-exchange chromatography media for protein separation //Journal of Chromatography A. – 1997. – vol. 760. – P. 151-158.
- 18 Liu G. et al. Copper doping improves hydroxyapatite sorption for arsenate in simulated groundwaters //Environmental science & technology. – 2010. – vol. 44. – P. 1366-1372.
- 19 Fihri, A., Len, C., Varma, R. S., Solhy, A. Hydroxyapatite: A review of syntheses, structure and applications in heterogeneous catalysis //Coordination Chemistry Reviews. – 2017. – vol. 347. – P. 48-76.
- 20 Hell R., Mendel R. R. (ed.). Cell biology of metals and nutrients. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- 21 Babenko O.H. // < Molibdofermenty-I-Ih-Biologycal-Rol.Pdf > .
- 22 Omarov R. T., Sagi M., Lips S. H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) by nitrogen source and salinity //Journal of Experimental Botany. – 1998. – vol. 49. – №. 322. – P. 897-902.
- 23 Zdunek-Zastocka E., Omarov RT., Koshiha T., Lips HS. Activity and protein level of AO isoforms in pea plants (*Pisum sativum* L.) during vegetative development and in response to stress conditions //Journal of experimental botany. – 2004. – vol. 55. – №. 401. – P. 1361-1369.
- 24 Yesbergenova Z., Yang G., Oron E., Soffer D., Fluhr R., Sagi M. The plant Mo²⁺hydroxylases aldehyde oxidase and xanthine dehydrogenase have distinct reactive oxygen species signatures and are induced by drought and abscisic acid //The Plant Journal. – 2005. – vol. 42. – №. 6. – P. 862-876.
- 25 Ishakov H. A., Schastlivcev E. L., Kondratenko Ju. A. Zola unosa v kachestve komponenta pochvennogo substrata [Fly Ash as a soil substrate], //Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry in Russia] (3), (17-18), (2009) [in Russian].

Сведения об авторах:

Мухамеджанова Д. С. – Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебінің оқушысы, Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Домалак ана көшесі 266, Тараз қ., Қазақстан.

Аксенова И. В. – биология магистрі, биология сарапшы-мұғалімі, Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Домалак ана көшесі 266, Тараз қ., Қазақстан.

Ильясова Б. В. - биотехнология және микробиология магистрі, "Өсімдіктер Биотехнологиясы" зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Омаров Р.Т. - биотехнология және микробиология кафедрасының меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Mukhamejanova D.S. – student of Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Domalak ana str., 266, Taraz, Kazakhstan.

Axyunova I.V. - Master of Biology, expert biology teacher, Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Domalak ana str., 266, Taraz, Kazakhstan.

Ilyassova B.B. - Master of Biotechnology and Microbiology, junior researcher of the "Plant Biotechnology" laboratory at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Omarov R.T. - prof., head of the biotechnology and microbiology department of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 10.05.2020