

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ И ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РАЗЛИЧНЫЕ СОРТА ЯЧМЕНЯ

ANTAGONISTIC EFFECTS OF COMPLEX EXPOSURE TO GAMMA RADIATION AND HEAVY METAL IONS ON VARIOUS VARIETIES OF BARLEY

К. В. Бабина, Н. В. Амосова

K. V. Babina, N. V. Amosova

*Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ), г. Обнинск, Россия
e-mail: babinakv@oiate.ru, amosovan@yandex.ru*

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering (IATE MEPHI), Obninsk, Russia

При условии радиационного гормезиса отрицательные последствия токсичности подвижных форм алюминия (например, возросшая частота АК) полностью нивелируется. Активация защитных реакций организма, вероятно, осуществляется именно гамма-излучением. Сверх того, малые дозы в 15 и 20 Гр и невысокая мощность облучения (58 Гр/ч) сами по себе стимулируют ростовые характеристики (эффект гормезиса). Уменьшение показателя зафиксировано и с ионами цинка, в концентрации соответствующей 1 ПДК (5,0 мг/л), однако, относительное перекрытие обнаруживается только в присутствии предпосевного гамма-облучения.

Under the condition of radiation hormesis, the negative consequences of the toxicity of mobile forms of aluminum (for example, an increased frequency of AK) are completely leveled. Activation of the body's protective reactions is probably carried out by gamma radiation. Moreover, small doses of 15 and 20 Gy and low irradiation power (58 Gy/h) by themselves stimulate growth characteristics (the effect of hormesis). A decrease in the indicator was also recorded with zinc ions, at a concentration corresponding to 1 MPC (5.0 mg/l), however, relative overlap is detected only in the presence of pre-sowing gamma irradiation.

Ключевые слова: тяжелые металлы, гамма-облучение, гормезис.

Keywords: heavy metals, gamma irradiation, hormesis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-164-167>

Любая биологическая система восприимчива к протекающим в ней антропогенным процессам. Составляющие ее части регулярно подвергаются нагрузке со стороны человека. При этом, стоит заметить, что такое давление на среду набирает силу с каждым годом. Текущая ситуация обуславливает опасения по поводу содержания продуктов человеческой деятельности: тяжелых металлов (ТМ) и их подвижных форм, в числе которых можно выделить ионы Al^{3+} , в почвообразующих структурах. Такой состав пород безусловно будет изменять качество почвы, а также скажется на ее плодородности.

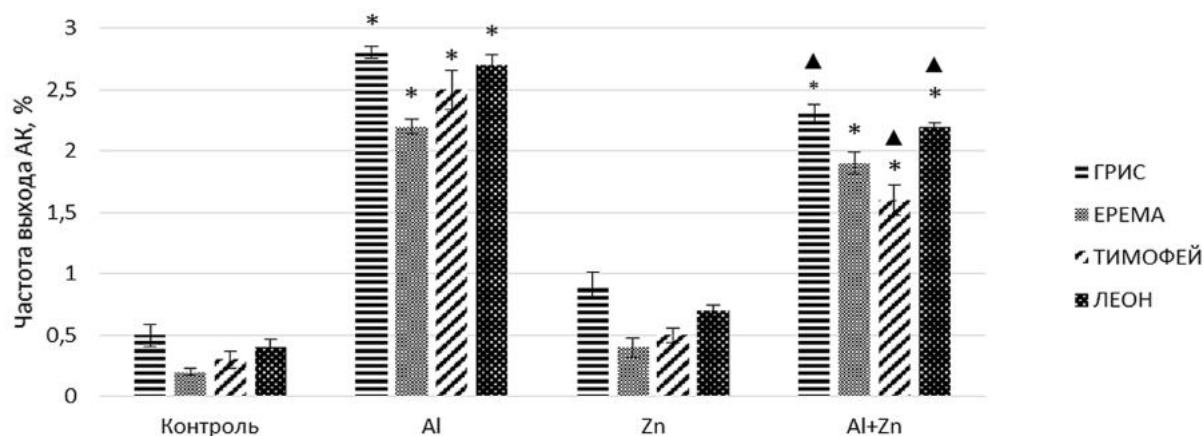
По итогам, ухудшения качества и другие не идущие на пользу последствия наблюдаются и у сельскохозяйственных культур, произрастающих на данной почве. Растительный организм, способный оказывать сопротивление алюминиевой токсичности, и пути реализации такой устойчивости — одна из ведущих и актуальных задач в текущем вопросе [3].

С недавних пор, в значительной степени заинтересованность вызывают не разрозненные и изолированные стрессовые воздействия на организм, но их комплексы [4]. Деструктивные индивидуальные вмешательства внешних агентов в процессы жизнедеятельности растения могут существенно модифицироваться, принимать другой оборот при совместном употреблении. Не исключено, и формирование стимулирующего эффекта, как результата взаимовлияния: двух различных металлов (алюминия и цинка), или же ТМ и гамма-излучения, являющихся агентами различной природы.

Использование гормезисных доз гамма-облучения (15 Гр и 20 Гр, мощность — 58 Гр/ч), а также концентраций металлов, соответствующих 1 ПДК для питьевой воды: 0,5 мг/л и 5,0 мг/л для Al^{3+} и Zn^{2+} соответственно, свидетельствует о явном расхождении результатов при раздельном и комбинированном применении факторов [1].

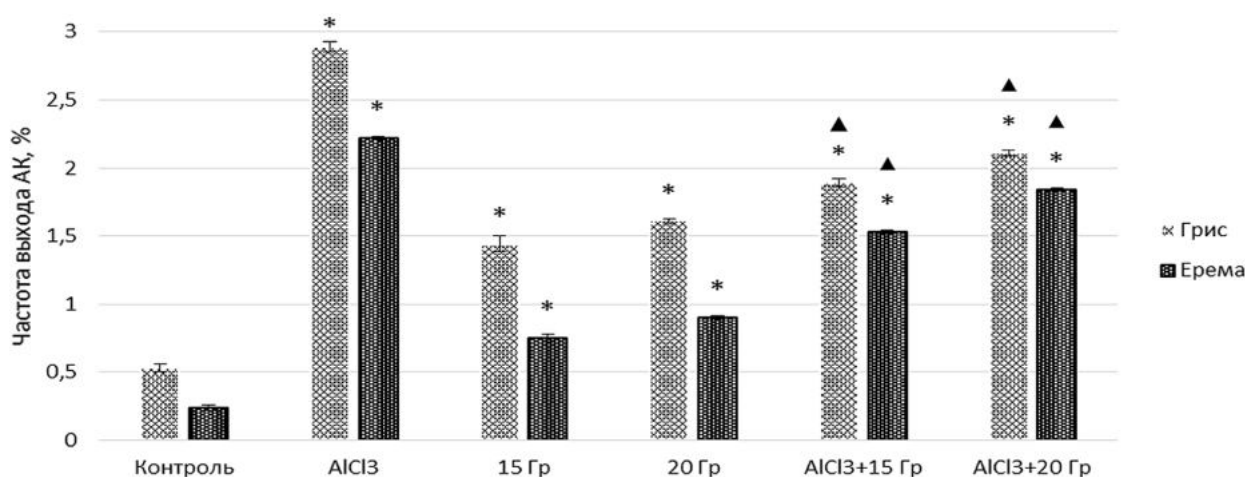
Предложенные в статье разновидности поликомпонентных воздействий алюминия с иными стрессорами различной природы, такими как цинк или гамма-облучение, на проростки ячменя ярового нескольких сортов демонстрируют возможные подходы в понижении токсических свойств алюминия при его попадании в растительный организм. Эффекты гормезиса и антагонизма не случайны, и имеют отклик в цитогенетических параметрах — митотическом индексе (МИ) и частоте аберрантных клеток (АК).

Экспериментально полученные данные, изображенные на рисунках 1 и 2, констатируют факт поднятия уровня частоты АК в трех случаях единоличного присутствия внешних факторов (ионы Al^{3+} , Zn^{2+} , и γ -облучение). Вместе с тем, целесообразно обратить внимание на значительное снижение отрицательного эффекта, его относительного нивелирования при комплексном привлечении стрессоров.



* - различия с контролем значимы при $p < 0,05$; ▲ - различия с вариантом Al^{3+} значимы при $p < 0,05$

Рисунок 1 – Частота aberrантных клеток (%) ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) при раздельном и комбинированном действии ионов Al^{3+} и Zn^{2+} в концентрациях, равных 0,5 мг/л и 5,0 мг/л соответственно

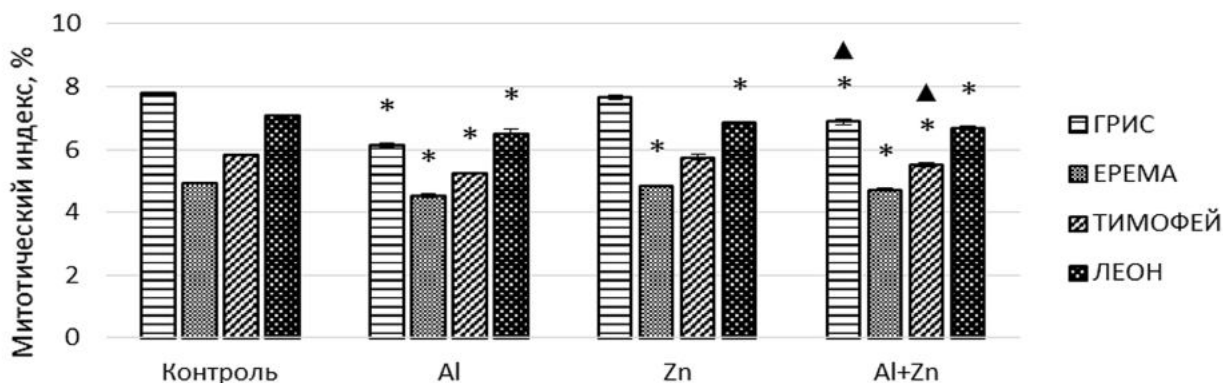


* - различия с контролем значимы при $p < 0,05$; ▲ - различия с вариантом Al^{3+} значимы при $p < 0,05$

Рисунок 2 – Частота aberrантных клеток (%) ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) при раздельном и комбинированном действии ионов Al^{3+} (0,5 мг/л) и γ -облучения в дозах 15 и 20 Гр (при мощности 58 Гр/ч)

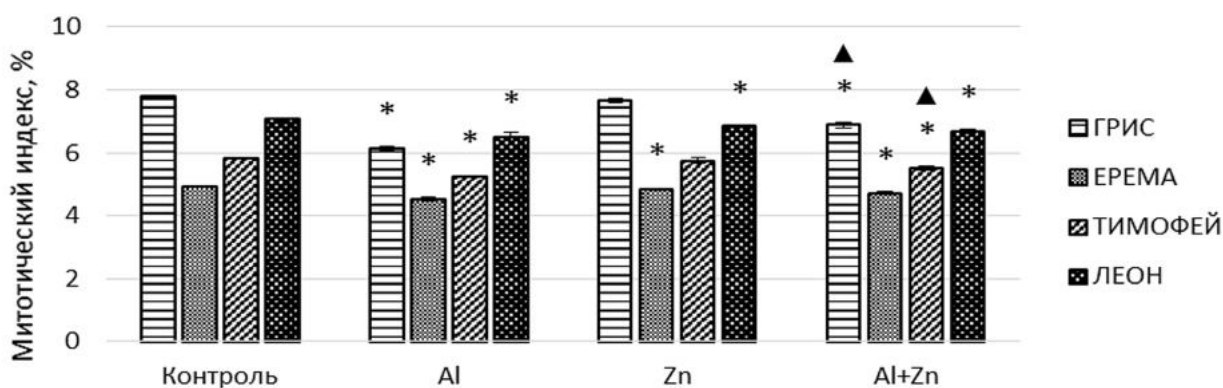
Итогом нахождения в растворе для проращивания семян ионов Al^{3+} служит рост доли АК более чем в семь раз в среднем по сортам при сопоставлении с контрольными значениями. Митотический индекс в указанном случае снижается на 11,9 %. Присутствие же ионов Zn^{2+} не влечет за собой значимых изменений в вышеупомянутых параметрах (рис. 3–4).

Осуществление совместного действия ионами двух ТМ приводит к падению числа aberrантных клеток в 1,3 раза при сравнении с изолированным действием алюминия. Предпосевное же облучение семян обуславливает уменьшение этого показателя в 7 и в 4 раза для сортов Ерема и Грис соответственно (также при сравнении с единоличным присутствием алюминия). Вдобавок к вышесказанному, стоит упомянуть, что наличие предпосевного облучения и отсутствие других факторов – служит причиной повышения МИ в 2 раза (по сравнению с контролем) и частоты АК в 3,5 раза (по сравнению с контролем) и для 15, и 20 Гр (при мощности дозы 58 Гр/ч) в среднем по сортам.



* - различия с контролем значимы при $p < 0,05$; ▲ - различия с вариантом Al^{3+} значимы при $p < 0,05$

Рисунок 3 – Митотический индекс (%) ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) при раздельном и комбинированном действии ионов Al^{3+} и Zn^{2+} в концентрациях 0,5 мг/л и 5,0 мг/л соответственно



* - различия с контролем значимы при $p < 0,05$; ▲ - различия с вариантом Al^{3+} значимы при $p < 0,05$

Рисунок 4 – Митотический индекс (%) ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) при раздельном и комбинированном действии ионов Al^{3+} и Zn^{2+} в концентрациях 0,5 мг/л и 5,0 мг/л соответственно

Итогом исследования было выявление хромосомных aberrаций нескольких типов – одиночные и парные фрагменты, центрические, ацентрические кольца и мосты, соотношение которых между собой зависит как от комбинаций внешних факторов, так и от сортовой принадлежности ячменя, что наглядно демонстрируют диаграммы на рисунке 5.

При сопоставлении спектров подмечено, что наибольший вклад имеют двойные и одиночные фрагменты; наряду с этим доля ацентрических колец в среднем примерно составляет десять процентов.



Рисунок 5 – Доля aberrантных клеток каждого вида при действии ионов Al^{3+} в концентрации, равной 0,5 мг/л, для ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) различных сортов: А – Грис; Б – Ерема; В – Тимофей; Г – Леон

Объединенное влияние ионов тяжелых металлов, хотя и снижает частоту АК, в конечном счете не преобразует их видовой состав. В данном спектре также доминируют парные и одиночные фрагменты, количество ацентрических колец по-прежнему мало. Об этом свидетельствует и рисунок 6, отражающий спектры сочетанного воздействия ТМ.



Рисунок 6 – Доля aberrантных клеток каждого вида при комбинированном действии ионов Al^{3+} (0,5 мг/л) и Zn^{2+} (5,0 мг/л) для ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L) различных сортов: А – Грис; Б – Ерема; В – Тимофей; Г – Леон

Материал опыта с γ -излучением констатирует факт того, что убыль числа aberrантных клеток сопровождается преобразованиями в распределении их видов. Рисунок 7 может послужить подтверждением роста количества одиночных фрагментов, которые начинают превалировать над остальными типами. Доли центрических колец и мостов выравниваются и колеблются на уровне 17-18%. Процент же ацентрических колец выходит за рамки 10 %.



Рисунок 7 – Доля aberrантных клеток каждого вида при комбинированном действии ионов Al^{3+} (0,5 мг/л) и гамма-облучения для сортов Грис и Ерема:
 А – Al^{3+} + 15 Гр (Грис); Б – Al^{3+} + 15 Гр (Ерема);
 В – Al^{3+} + 20 Гр (Грис); Г – Al^{3+} + 20 Гр (Ерема)

В силу идентичных наборов aberrаций, можно выдвинуть предположение о возможной аналогии схем поступления и распределения мутагенов, моделей их действия на сельскохозяйственную культуру, и, что наиболее важно – отклика растения на деструктивные процессы такого рода. Наблюдаемая разница в соотношении типов aberrаций может указывать на существенные различия в механизмах формирования эффектов антагонизма.

Принимая во внимание, что спектр, имеющий в своем составе 5 разных aberrаций, находится в прямой зависимости не только от защитных свойств организма, для интерпретации полученных результатов необходимо принять во внимание и сортовую принадлежность ячменя, и условия конкретных опытов.

В связи с тем, что культура имеет в своем распоряжении достаточно весомым ассортиментом типичных и уникальных механизмов металлоустойчивости, поддержание гомеостаза, включающее выведение и детоксикацию агентов, не вызывает серьезных проблем. Ключевое место в ответе на действие стрессоров принадлежит активным формам кислорода (АФК), транскрипционным факторам (ТФ) и киназным каскадам, то есть происходит активация защитных систем. Это особенно ценно в том случае, когда содержание ТМ в составе биоты превышает допустимые уровни [2]. Их избыток также усугубляется возрастанием кислотности почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климова, Е. В. Влияние сочетанного радиоактивного и химического (тяжелые металлы, гербициды) загрязнения на выход цитогенетических нарушений в интеркалярной меристеме ярового ячменя / Е. В. Климова // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2004. – № 1. – С. 46. – EDN HBFXFN.
2. Петухов, А. С. Биохимические механизмы защиты при накоплении тяжелых металлов в организмах / А. С. Петухов, Г. А. Петухова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – № 2. – С. 114-117. – DOI 10.18821/0016-9900-2017-96-2-114-117. – EDN YIREYH.
3. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен; Ответственный редактор Н. Н. Немова; Институт биологии Карельского НЦ РАН. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с. – ISBN 978-5-9274-0268-7. – EDN QKQKGB.
4. Synergistic interaction of heavy metal salts with hyperthermia or ionizing radiation / M. S. Tolkaeva, K. P. Mishra, E. S. Evstratova, V. G. Petin // . – 2021. – Vol. 12, No. 1. – P. 23-26. – DOI 10.4103/jrcr.jrcr_69_20. – EDN VBSWZY.