

ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧКИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ИЗ КЛЕТОК КОРНЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ ПРИ АЛЮМИНИЕВОМ СТРЕССЕ

Вайтулевич А. В.

Белорусский государственный университет, Минск;

hryvusevich@bsu.by;

науч. рук. – П. В. Гриусевич

Алюминий занимает особое место среди тяжелых металлов загрязнителей, так как он представляет собой основной лимитирующий фактор роста и развития растений в кислых почвах. В настоящее время слабо изучены механизмы влияния Al^{3+} на системы пассивного транспорта в корневой системе растений. В работе было протестировано протекторное влияние бора на Al^{3+} -индуцированную утечку электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L. С использованием кондуктометрического анализа было показано, что при воздействии Al^{3+} происходит массивная утечка электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L. Установлено, что при добавлении бора в среду, содержащую Al^{3+} (200 и 600 мкМ) наблюдается достоверное снижение стрессового воздействия на корневую систему. Вероятно, бор способен снижать влияние алюминиевого стресса на *Pisum sativum* L.

Ключевые слова: алюминий; бор; калий; электролиты; *Pisum sativum* L; корень; кондуктометрия

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевый стресс представляет собой один из ключевых факторов, ограничивающих рост и развитие растений на кислых почвах (глина) [1]. Воздействие Al^{3+} приводит к ингибированию развития корневой системы, снижению фотосинтетической активности, нарушению транспортных процессов и утечке электролитов. Для снижения токсичного влияния Al^{3+} растения выработали несколько механизмов защиты: утечка органических анионов (малат²⁻, цитрат³⁻) из клетки и хелатирование Al^{3+} ; протекторное влияние бора за счет модификаций систем пассивного и активного транспорта плазматической мембраны клеток корня [3, 4]. В настоящее время слабо изучены механизмы влияния Al^{3+} на системы пассивного транспорта в корневой системе высших растений. В этой связи, целью работы являлось выявление протекторного влияния бора на Al^{3+} -индуцированную утечку электролитов из клеток корня высших растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись проростки *Pisum sativum* L., выращенные на водной среде, содержащей 100 % Кноп (100 мМ KH_2PO_4 ,

100 мМ KCl, 100 мМ Ca(NO₃)₂, 100 мМ MgSO₄, 100 мМ FeCl₃). Растения культивировались с использованием классического рулонного метода [2]. Первая группа растений выращивалась при дефиците бора в питательной среде, Вторая – в среде, содержащей 2,5 мкМ Н₃ВО₃. Измерение содержания К⁺ проводилось при помощи кондуктометра (HI2300). Расчеты производились на основе калибровочной зависимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Был проведен кондуктометрический анализ для выявления воздействия Al³⁺ на утечку К⁺ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенных в условиях различной обеспеченности бором. В работе были протестированы следующие концентрации Al³⁺: 200, 600, 1200 мкМ. Для повышения точности анализа был введен дополнительный контроль (рН = 4,5), т.к. Al³⁺ находится в доступной форме в кислой среде. В качестве положительного контроля использовался 20 % этиловый спирт. Установлено, что добавление Al³⁺ в среду приводит к значительной утечке К⁺ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенных в условиях дефицита бора.

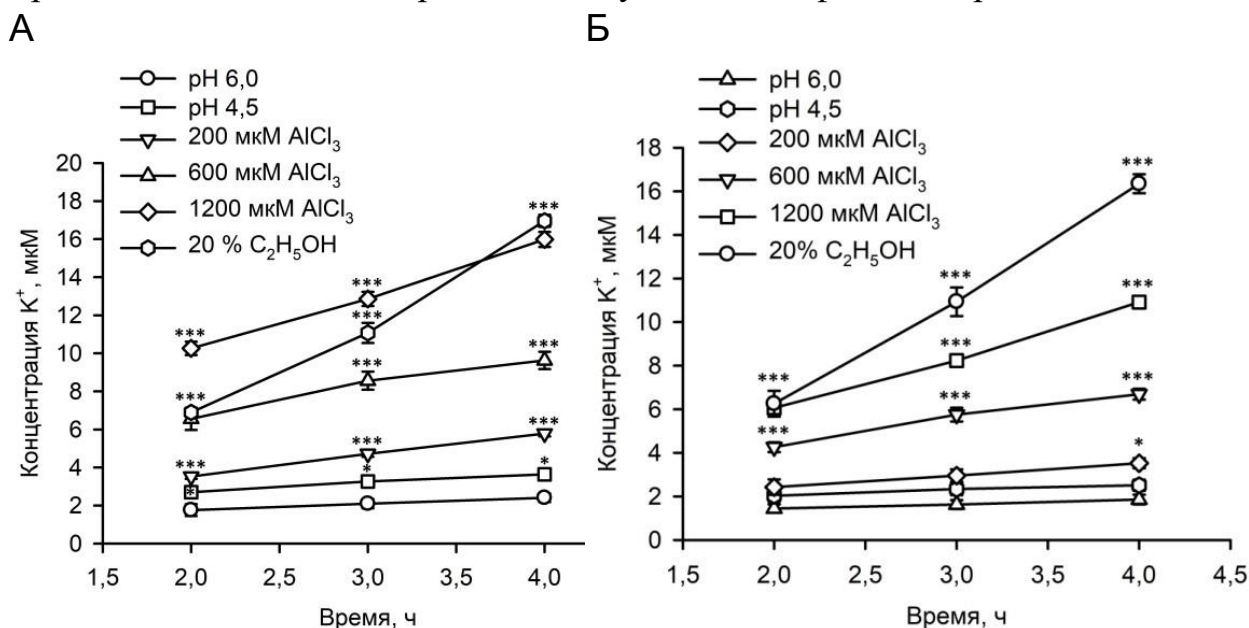


Рис. 1 – Динамика утечки К⁺ при воздействии стрессоров (Al³⁺, C₂H₅OH).
 А – *Pisum sativum* L., выращенные при дефиците бора. Б – *Pisum sativum* L., выращенные в условиях обеспеченности бором. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-тест, где ***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05

Показано, что с увеличением концентрации стрессора наблюдается пропорциональное повышение утечки К⁺ (рисунок 1, А). При добавлении 20 % этилового спирта в среду наблюдается изменение кинетики утечки

электролитов в связи с разрушением плазматических мембран поверхностных клеток корня гороха.

Показано, что растения *Pisum sativum* L., выращенные в нормальных условиях, демонстрируют сходные ответы на Al^{3+} -стресс с растениями гороха, выращенными в условиях дефицита бора (рисунок 1, Б). Наблюдается достоверное увеличение утечки K^+ при повышении концентрации Al^{3+} в среде. Воздействие этилового спирта приводит к массивной утечке K^+ из клеток корня гороха; кинетика утечки электролитов сходная с данными, полученными на растениях 1 группы (рисунок 1, А). Полученные данные свидетельствуют о различных механизмах, ответственных на утечку электролитов (K^+) из клеток корня *Pisum sativum* L., при воздействии алюминиевого стресса и добавлении в среду этилового спирта.

На рисунке 2 представлены данные, демонстрирующие изменения потока K^+ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенного в условиях дефицита и нормальной обеспеченности бором.

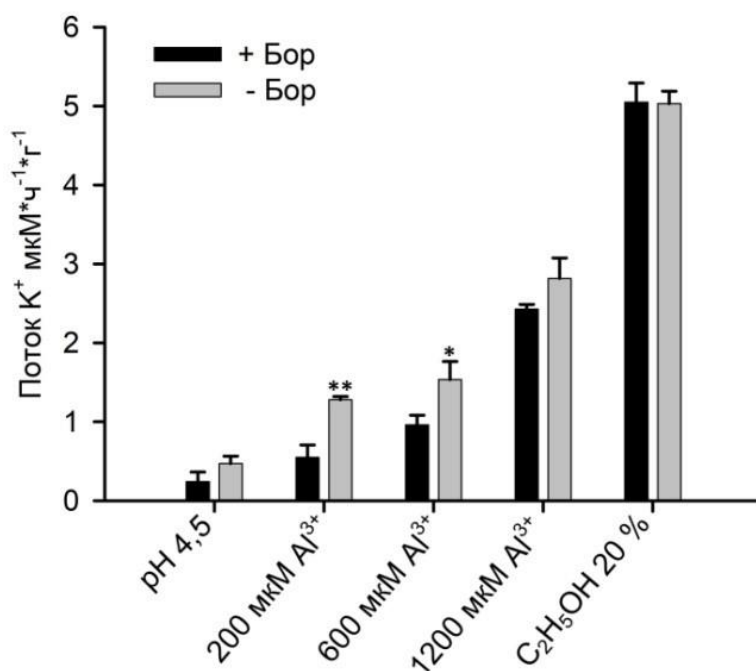


Рис. 2 – Потоки K^+ при воздействии стрессоров (Al^{3+} , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) у *Pisum sativum* L., выращенных в условиях различной обеспеченности бором. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-тест, где *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$.

Продemonстрировано, что у растений, выращенных в нормальных условиях, наблюдается достоверное снижение утечки калия из клеток корня при воздействии Al^{3+} в концентрациях 200 и 600 мкМ, по сравнению с растениями, выращенными в условиях дефицита бора.

Вероятно, бор обладает протекторными свойствами при алюминиевом стрессе. Однако, не установлено протекторного влияния бора при добавлении этилового спирта в среду. Вероятно, бор проявляет свои протекторные свойства при невысоких концентрациях Al^{3+} , воздействующих на определенные ионные каналы плазматической мембраны клеток корня *Pisum sativum* L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе было показано, что добавление в среду Al^{3+} индуцирует утечку K^+ из клеток корня *Pisum sativum* L. прямо пропорционально с увеличением концентрации Al^{3+} и временем воздействия стрессора. Установлено, что бор оказывает протекторное влияние на системы пассивного транспорта клеток корня *Pisum sativum* L. при воздействии 200 и 600 мкМ Al^{3+} .

Библиографические ссылки

1. Kar, D. The role of solute transporters in aluminium toxicity and tolerance / D. Kar, A. A. Pradhan, S. Datta // *Physiol. Plant.* – 2020.
2. Jensen, M.H. Hydroponics / M.H. Jensen // *HortScience.* – 1997. – Vol. 32. – P. 1018-1021.
3. Mechanisms of organic acids and boron induced tolerance of aluminum toxicity: a review / M. Riaz [et al] // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2018. – Vol. 165. – P. 25-35.
4. Mechanisms on boron-induced alleviation of aluminum-toxicity in *Citrus grandis* seedlings at a transcriptional level revealed by cDNA-AFLP analysis / X. X. Zhou [et al] // *PLoS ONE.* – 2015. – Vol. 10. – P.115-485.