

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений**

**ВАЙТУЛЕВИЧ**  
Александры Викентьевны

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРОМ НА УТЕЧКУ**  
**ЭЛЕКТРОЛИТОВ ИЗ КЛЕТОК КОРНЯ *PISUM SATIVUM* L. ПРИ**  
**АЛЮМИНИЕВОМ СТРЕССЕ**

Аннотация  
к дипломной работе

Научный руководитель:  
старший преподаватель  
П. В. Гриусевич.

Допущена к защите

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года

Зав. кафедрой клеточной биологии и биоинженерии растений

кандидат биологических наук, доцент

\_\_\_\_\_ И. И. Смолич

Минск, 2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перечень условных обозначений .....                                                                                                                                       | 3  |
| Введение.....                                                                                                                                                             | 8  |
| Глава 1. Обзор литературных данных.....                                                                                                                                   | 10 |
| 1.1 Утечка электролитов из корней высших растений при стрессе .....                                                                                                       | 10 |
| 1.2 Ионные каналы растений .....                                                                                                                                          | 13 |
| 1.2.1 Анионные каналы.....                                                                                                                                                | 14 |
| 1.2.2 Катионные каналы .....                                                                                                                                              | 20 |
| 1.3 Алюминиевый стресс.....                                                                                                                                               | 30 |
| 1.4 Влияние бора на утечку электролитов .....                                                                                                                             | 33 |
| Глава 2. Материалы и методы исследования .....                                                                                                                            | 37 |
| 2.1 Объект исследования .....                                                                                                                                             | 37 |
| 2.2 Культивирование проростков <i>Pisum sativum</i> L. в лабораторных условиях .....                                                                                      | 37 |
| 2.3 Калибровка кондуктометра .....                                                                                                                                        | 38 |
| 2.4 Кондуктометрический метод анализа .....                                                                                                                               | 40 |
| 2.5 Статистическая обработка результатов .....                                                                                                                            | 42 |
| Глава 3. Результаты и их обсуждение .....                                                                                                                                 | 43 |
| 3.1 Анализ динамики утечки $K^+$ из клеток корня <i>Pisum sativum</i> L.,<br>выращенного в условиях дефицита бора .....                                                   | 43 |
| 3.2 Динамика оттока $K^+$ из клеток корня <i>Pisum sativum</i> L., выращенного в<br>среде с нормальной обеспеченностью бором.....                                         | 44 |
| 3.3 Сравнительный анализ выходящих потоков $K^+$ из клеток корня <i>Pisum</i><br><i>sativum</i> L. ....                                                                   | 45 |
| 3.4 Сравнительный фармакологический анализ выходящих потоков $K^+$ из<br>клеток корня <i>Pisum sativum</i> L., выращенных в среде, не содержащей бор .....                | 46 |
| 3.5 Сравнительный ингибиторный анализ выходящего потока $K^+$ из клеток<br>корня <i>Pisum sativum</i> L., выращенного в среде с нормальной обеспеченностью<br>бором ..... | 49 |
| Заключение .....                                                                                                                                                          | 52 |
| Список использованных источников .....                                                                                                                                    | 53 |

## Реферат

Дипломная работа: 57 страниц, 18 рисунков, 3 таблицы, 62 источника.

Ключевые слова: УТЕЧКА ЭЛЕКТРОЛИТОВ, СТРЕСС, АЛЮМИНИЙ, БОР, *PISUM SATIVUM* L., КАЛИЙ, КОНДУКТОМЕТРИЯ.

Целью работы являлось установление влияния бора на  $Al^{3+}$ -индуцированную утечку электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L.

В качестве объекта исследования использовались корни проростков *Pisum sativum* L. В работе были применены современные кондуктометрические методы исследования, а также ряд классических подходов физиологии растений. Проведен глубокий анализ литературных данных о стресс-индуцируемом оттоке электролитов, ион-транспортных системах у высших растений, а также проблеме алюминиевого стресса. В работе была адаптирована экспериментальная система для проведения кондуктометрического анализа на примере *Pisum sativum* L.

В результате проведенных исследований было установлено, что при действии  $Al^{3+}$  наблюдается индукция оттока  $K^{+}$  из клеток корня *Pisum sativum* L. Утечка  $K^{+}$  повышалась прямо пропорционально увеличению содержания  $Al^{3+}$  в среде и времени воздействия стрессора. Показано, что *Pisum sativum* L., выращенные на питательной среде, содержащей бор, характеризовались снижением выходящего потока  $K^{+}$  при  $Al^{3+}$ -стрессе по сравнению с растениями гороха, выращенными в условиях дефицита бора. Вероятно, бор обладает протекторным действием при действии  $Al^{3+}$  на корневую систему *Pisum sativum* L. Проведенный фармакологический анализ (добавление ТЭА<sup>+</sup>,  $Gd^{3+}$ ) продемонстрировал снижение утечки  $K^{+}$  из корней *Pisum sativum* L. при действии  $Al^{3+}$ . Полученные данные свидетельствуют о вовлечении  $K^{+}$ -каналов и НКК в выходящий поток ионов  $K^{+}$  при алюминиевом стрессе.

Работа имеет фундаментальное значение, так как раскрывает ранее неизвестные механизмы влияния  $Al^{3+}$ -стресса на корневую систему *Pisum sativum* L. Полученные результаты также могут иметь практическое значение. Выращивание сельскохозяйственных растений на почвах, содержащих бор, и обработки бор-содержащими препаратами могут снизить влияние  $Al^{3+}$ -стресса на кислых почвах и повысить продуктивность высших растений.

## Рэферат

Дыпломная работа: 57 старонак, 18 малюнкаў, 3 табліцы, 62 крыніцы.

Ключавыя словы: УЦЕЧКА ЭЛЕКТРАЛІТАЎ, СТРЭС, АЛЮМІНІЙ, БОР, *PISUM SATIVUM* L., КАЛІЙ, КАНДУКТАМЕТРЫЯ.

Мэта работы: усталяванне ўплыву бора на  $\text{Al}^{3+}$ -індукаваную ўцечку электралітаў з клетак караня *Pisum sativum* L.

Аб'ект даследавання: карані *Pisum sativum* L.

Метады даследавання: сучасныя кандуктаметрычныя, а таксама шэраг класічных падыходаў фізіялогіі раслін. Праведзены глыбокі аналіз літаратурных дадзеных аб стрэс-індукаваным адтоку электралітаў, іён-транспартных сістэмах у вышэйшых раслін, а таксама праблеме алюмініевага стрэсу. У працы была адаптавана эксперыментальная сістэма для правядзення кандуктаметрычнага аналізу на прыкладзе *Pisum sativum* L.

Вынікі даследаванняў: устаноўлена, што пры дзеянні  $\text{Al}^{3+}$  назіраецца індукцыя адтоку  $\text{K}^+$  з клетак караня *Pisum sativum* L. Уцечка  $\text{K}^+$  павышалася прама прапарцыйна павелічэнню ўтрымання  $\text{Al}^{3+}$  у асяроддзі і часу ўздзеяння стрэсара. *Pisum sativum* L., вырашчаныя на пажыўным асяроддзі, якое змяшчае бор, характарызаваліся зніжэннем адтоку  $\text{K}^+$  пры  $\text{Al}^{3+}$ -стрэсе ў параўнанні з раслінамі гароху, вырашчаныя ва ўмовах дэфіцыту бору. Верагодна, бор валодае пратэктарным дзеяннем пры ўздзеянні  $\text{Al}^{3+}$  на каранёвую сістэму *Pisum sativum* L. Праведзены фармакалагічны аналіз (дадаванне  $\text{TBA}^+$ ,  $\text{Gd}^{3+}$ ) прадэманстраваў зніжэнне ўцечкі  $\text{K}^+$  з каранёў *Pisum sativum* L. пры ўздзеянні  $\text{Al}^{3+}$ . Атрыманыя дадзеныя сведчаць аб уцягванні  $\text{K}^+$ -каналаў і НКК, праз якія выходзіць паток іёнаў  $\text{K}^+$  пры алюмініевым стрэсе.

Работа мае фундаментальнае значэнне, бо раскрывае раней невядомыя механізмы ўплыву  $\text{Al}^{3+}$ -стрэсу на каранёвую сістэму *Pisum sativum* L.

Атрыманыя вынікі таксама могуць мець практычнае значэнне. Вырошчванне сельскагаспадарчых раслін на глебах, якія змяшчаюць бор, і апрацоўкі прэпаратамі з бораў могуць знізіць уплыў  $\text{Al}^{3+}$ -стрэсу на кіслых глебах і павысіць прадуктыўнасць вышэйшых раслін.

## Abstract

The graduation work: 57 pages, 18 figures, 3 tables, 62 sources.

Keywords: ELECTROLYTE LEAKAGE, STRESS, ALUMINUM, BORON, *PISUM SATIVUM* L., POTASSIUM, CONDUCTOMETRY.

Objective: boron effect on the  $\text{Al}^{3+}$ -induced electrolyte leakage from the *Pisum sativum* L. root cells.

The object of research: the roots of *Pisum sativum* L.

Methods: modern conductometric, as well as a number of classical plant physiology approaches. Literature data analysis on stress-induced electrolyte leakage, ion-transport systems in higher plants and the problem of aluminum stress has been carried out. In this work an experimental system was adapted for conductometric analysis using the example of *Pisum sativum* L.

The results of research: the induction of  $\text{Al}^{3+}$ -induced  $\text{K}^+$  efflux from the *Pisum sativum* L. root cells was observed.  $\text{K}^+$  leakage was increased when  $\text{Al}^{3+}$  was added in the bathing solution. It was shown that *Pisum sativum* L. plants which were grown on a nutrient medium containing boron demonstrated less  $\text{Al}^{3+}$ -induced  $\text{K}^+$  efflux from the root cells compared with pea plants which were grown under conditions of boron deficiency. Probably, boron is a protective agent under  $\text{Al}^{3+}$  stress. We also shown that K selective channels and NSCC are involved in  $\text{Al}^{3+}$ -induced  $\text{K}^+$  leakage from the roots of *Pisum sativum* L.

The work is of fundamental importance, because it reveals previously unknown mechanisms of the  $\text{Al}^{3+}$  stress on *Pisum sativum* L. root system. The results may also be of practical importance. Cultivation of agricultural plants on soils containing boron and treatments with boron-containing preparations can reduce the effect of  $\text{Al}^{3+}$  stress on acidic soils and increase the productivity of higher plants.