

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ И БЛОКИРОВАНИЯ КАЛЬЦИЕВЫХ КАНАЛОВ

Н.В. Будаговская

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия, *postnabu@mail.ru*

**Аннотация.** Исследовалось влияние засоления и блокатора кальциевых каналов верапамила на процессы роста и транспорт воды у растений кукурузы. Показано, что засоление вызывает снижение водонагнетающей активности корней и угнетение роста и развития растений. При блокировании кальциевых каналов происходят нарушения транспорта воды в корнях, снижение ростовой активности растений и морфологические изменения в корневой системе и побегах.

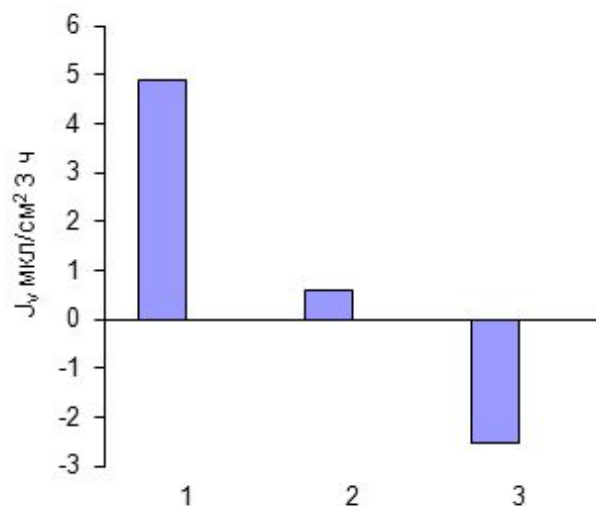
**Ключевые слова:** засоление, блокатор кальциевых каналов, кукуруза, рост, транспорт воды

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-154-158

Почвы с высоким уровнем засоления занимают обширные территории во всем мире. Большинство сельскохозяйственных растений относится к гликофитам, имеющим низкую солеустойчивость. Выращивание растений на засоленных почвах приводит к снижению их продуктивности [Pitman, Lauchli, 2002]. В проведенных ранее экспериментах было показано, что засоление вызывало снижение скорости роста надземной части (листьев, стеблей) растений овса, ячменя, пшеницы, риса, гречихи [Budagovskaya, 2007, 2010]. Данная работа посвящена исследованию транспорта воды в корнях растений кукурузы при разных концентрациях хлористого натрия (NaCl) в наружном растворе. В связи с тем, что засоление снижает поглощение кальция корнями и его транспорт [Lynch, Lauchli, 1985], были проведены модельные эксперименты с использованием блокатора кальциевых каналов, приводящие к аналогичному эффекту. Оценивалось состояние систем транспорта воды в корнях растений кукурузы в условиях блокирования кальциевых каналов. Регистрировались ростовые характеристики растений.

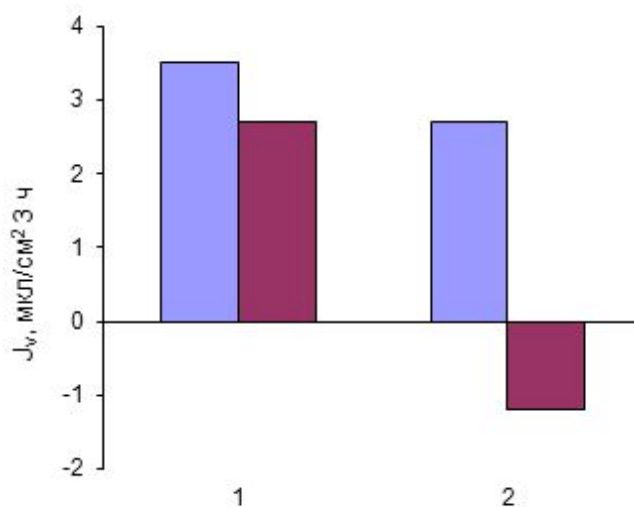
В экспериментах использовали растения кукурузы гибрида Пионер. Интенсивность экссудации корней определяли по методу [Anderson, House, 1967] с некоторыми модификациями. Эксперименты проводили с изолированными корнями в течение нескольких часов при концентрации NaCl 25 мМ-500 мМ, верапамила 1,0 мМ и 6,0 мМ. Для исследования влияния NaCl и верапамила на состояние растений в более длительных экспериментах использовали водную культуру для выращивания

Интенсивность экссудации характеризует водонагнетающую активность корней. На рис. 1 представлены результаты опытов по исследованию влияния NaCl (25 мМ, 50 мМ) на экссудацию корней. Можно видеть, что интенсивность экссудации корней при засолении в 25 мМ NaCl значительно ниже, чем в контрольном варианте. При более высоком уровне засоления (50 мМ NaCl) экссудация не регистрировалась, а наблюдался обратный транспорт воды (отрицательные значения на графике). Обратный транспорт воды в корнях вызван высоким осмотическим давлением раствора NaCl во внешней среде. Интенсивность обратного транспорта воды увеличивалась пропорционально увеличению концентрации NaCl во внешней среде (50, 100, 200, 500 мМ NaCl). Вызванный засолением отток воды из растений, приводящий к сжатию тканей надземных органов (листьев, стеблей) был зарегистрирован нами ранее [Budagovskaya, 2007, 2010].



**Рис. 1.** Влияние NaCl на интенсивность экссудации корней растений кукурузы за 3 ч. 1 – контроль, 2 – 25 мМ NaCl, 3 – 50 мМ NaCl.

Нарушение транспорта воды в растениях, обусловленное засолением, является важным фактором, сдерживающим их рост и развитие. В условиях засоления размеры надземных органов и корней у растений кукурузы были меньше, чем у контрольных растений. Растения опытных вариантов отставали в развитии от контрольных: количество образовавшихся листьев у них было меньше, корневая система была развита хуже.



**Рис. 2.** Влияние верапамила на интенсивность экссудации корней растений кукурузы за 3 ч. (■ - 1-3 ч) и (■ - 4-6 ч), 1 – контроль, 2 – вариант с верапамилом (1,0 мМ).

Влияние нарушения поглощения и транспорта кальция, сопутствующего NaCl-засолению, на водонагнетающую активность корней и рост растений исследовалось в следующей серии модельных экспериментов с участием блокатора кальциевых каналов верапамила. Рис. 2 демонстрирует результаты таких экспериментов, характеризующие водонагнетающую активность корней кукурузы в отсутствие верапамила и при его добавлении. В контрольном варианте интенсивность экссудации

в течение 6 ч изменялась незначительно. В варианте с верапамилом (1,0 мМ) в первые 3 ч интенсивность экссудации была ниже контрольного уровня, в дальнейшем отмечено прекращение экссудации и обращение транспорта воды (отрицательные значения на графике). Интенсивность обратного транспорта воды в корнях увеличивалась при повышении концентрации верапамила до 6,0 мМ. С увеличением времени воздействия верапамила на растения или с увеличением его концентрации усиливались деструктивные процессы в корнях, вызванные дефицитом кальция, что приводило к увеличению интенсивности обратного транспорта воды в корнях в результате пассивного выхода ее в наружное пространство. Как было показано ранее в наших экспериментах, верапамил вызывал дефицит кальция у растений [Budagovskaya, 2010]. При дефиците кальция увеличивается проницаемость клеточных мембран, происходит разрушение клеток растений [Simon, 1978].

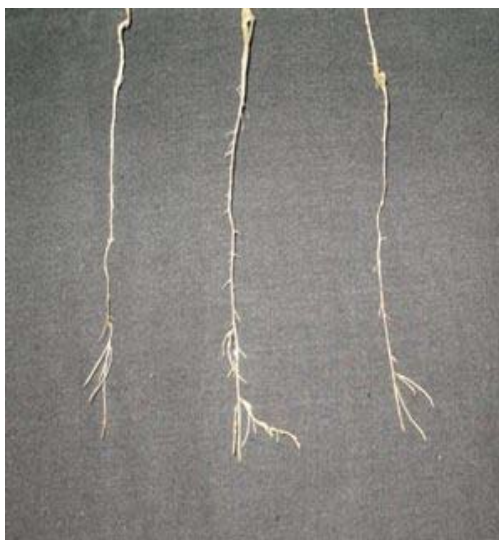


**Рис. 3. Влияние верапамила на рост побега и корня растения кукурузы, слева – контроль, справа вариант с верапамилом.**

В опытах на целых растениях наблюдалось снижение ростовой активности побегов и корней в вариантах с верапамилом в отличие от контроля. Размеры листьев и корней у растений опытного варианта были меньше, чем у контрольных (рис. 3). С увеличением времени выращивания растений в присутствии верапамила различия между контрольными и опытными растениями увеличивались. В то время как у растений контрольного варианта развивалась характерная для кукурузы мочковатая корневая система, у опытных растений корни были слаборазвиты, имели разветвления только на концах (рис. 4). Эта морфологическая особенность корней является типичной для растений варианта с верапамилом.

У растений варианта с верапамилом отмечено пожелтение и подсыхание концов листьев. Такие изменения в листьях являются диагностическим признаком дефицита кальция [Simon, 1978] и могут свидетельствовать о нарушении транспорта этого элемента из корней в побеги. Передвижение ионов кальция в акропетальном направлении сопряжено с транспортом ауксина в базипетальном направлении

[Медведев, 1989]. Гормон ауксин участвует в процессах роста растений. Нарушение транспорта кальция вызывает нарушение перемещения ауксина в растениях, что ведет к угнетению их роста. Нарушение транспорта ауксина может приводить к формированию морфотипов, отличных от контрольных растений, как представлено на рис. 4.



**Рис. 4. Морфотип корней кукурузы, сформированный при выращивании растений в присутствии верапамила.**

Таким образом, существенными причинами подавления роста растений при засолении является снижение водонагнетающей активности корней, обусловленное высокой концентрацией NaCl в наружной среде, деструктивными процессами в корнях в результате дефицита кальция в их тканях и нарушением транспорта кальция и сопряженного транспорта гормона ауксина в системе целого растения.

#### Литература

Медведев С.С., Маркова И.В., Шишова М.Ф., Сопова Т.М. О полярном транспорте кальция в растительных тканях. // Вестник ЛГУ. – 1989. – Сер. 3, Вып. 1, № 3. – С. 79–83.

Anderson W.P., House C.R. A correlation between structure and function in the root *Zea mays* L. // J. Exp. Bot. – 1967. – V. 18. – P. 544–555.

Budagovskaya N.V. Interaction of plant shoots and roots: dynamics and stability // Biophotonics and Coherent Systems. (Eds. Belousov L.V., Voeikov V.L., Martinuk V.). – Springer. – New York, – 2007. – P. 213–223.

Budagovskaya N.V. Rapid response reactions of buckwheat plant shoots on changes in sodium chloride concentration at the root zone and blockage of calcium channels // The European Journal of Plant Science and Biotechnology. – 2010. – V. 4. – P. 128–130.

Lynch J., Lauchli A. Salt stress disturbs the calcium nutrition of burley (*Hordeum vulgare* L.) // New Phytology. – 1985. – V. 87. – P. 351–356.

Pitman M.G., Lauchli A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Lauchli A, Luttge V (Eds). Salinity: environment-plants molecules, Kluwer Academic Publishers. – The Netherlands, 2002. – P. 3–20.

Simon E.W. The symptoms of calcium deficiency in plants // New Phytol. – 1978. – V. 80. – P. 1–15.

## FUNCTIONAL AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN PLANTS UNDER SALINITY AND BLOCKAGE OF CALCIUM CHANNELS

N.V. Budagovskaya

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, *postnabu@mail.ru*

**Abstract.** The effect of salinity and calcium channel blocker verapamil on the growth and water transport in maize plants has been studied. It was shown that salinity caused decrease in water pressure activity of roots and inhibition of growth and development of plants. Blockage of calcium channels led to a disturbance of water transport in roots, decrease in growth activity of plants and morphological changes in root system and shoots.

**Keywords:** *salinity, calcium channel blocker, maize, growth, water transport*