



УДК 518.192:518.143.6

Особенности изменения микроэлементного состава растений арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) heynh.) и теллунгиеллы (*Thellungiella salsuginea* (Pallas) O.E. Schltz) при моделировании условий засоления

Г. А. Белоголова¹, В. Н. Шмаков², Г. В. Матяшенко¹, Ю. М. Константинов²

¹Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск

²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск

E-mail: gabel@igc.irk.ru, yukon@sifibr.irk.ru

Аннотация. Исследованы особенности накопления микроэлементов в суспензионных культурах двух контрастных по солеустойчивости видов растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. и *Thellungiella salsuginea* (Pallas) O. E. Schltz при моделировании условий засоления. Интенсивное соленакопление в растительных клетках сопровождается дисбалансом эссенциальных элементов.

Ключевые слова: арабидопсис, теллунгиелла, микроэлементы, моделирование засоления.

В настоящее время активно проводятся исследования биологических механизмов солеустойчивости в различных видах растений в связи с естественным засолением почв и за счет мелиоративных мероприятий [3–8]. Тем не менее, механизм токсического воздействия в связи с закономерностями межэлементных взаимодействий при соленакоплении остается малоизученным.

Основная цель работы состояла в изучении закономерностей поглощения и накопления микроэлементов в клеточных культурах двух видов растений, отличающихся по своей солеустойчивости, в модельных условиях засоления, создаваемых путем добавления различных концентраций NaCl.

Материалы и методы

Основными объектами исследований явились клеточные культуры двух видов растений: теллунгиеллы и арабидопсиса. Теллунгиелла солонцовая (*Thellungiella salsuginea* (Pallas) O. E. Schltz), недавно объединенная с *Thellungiella halohpila* (C. A. Mey.) O. E. Schltz), является однолетним или двулетним растением 10–30 см высотой, произрастающим на солончаках, в солонцовых степях и солонцеватых лугах. Близкородственный ей вид арабидопсис или резушка Таля (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) – однолетнее или двулетнее растение 10–40 см высотой. Произрастает в степях и степных лугах. Теллунгиелла из этих двух ви-

дов считается более устойчивым к различным видам абиотического стресса, в том числе к засолению [4; 7].

Ранее такого рода предварительное изучение было проведено нами на примере единичного эксперимента [2]. Приведенные исследования основаны на нескольких новых повторных экспериментах, полученных при моделировании различных условий засоления питательной среды, используемой для выращивания суспензионных культур растений.

Выращивание суспензионных культур двух видов растений проводили на модифицированной среде Мурашиге и Скуга [5] с добавлением тиамина – 1,0 мг/л, пиридоксина – 0,5 мг/л, никотиновой кислоты – 0,5 мг/л, 2,4 дихлорфеноксиуксусной кислоты – 0,3 мг/л, сахарозы – 30 г/л, хлорида натрия – 0; 1,78 (30 mM) или 5,85 (100 mM) г/л.

Анализ массовой доли Mn, Fe, Ca, Mg, Zn, Cu, Pb в пробах осуществляли атомно-абсорбционным методом. Измерения проведены на атомно-абсорбционных спектрометрах модели 403 и 503 фирмы Perkin-Elmer (США). Ошибка определения не превышала 5–20 %.

Определение щелочных элементов K, Na выполняли методом фотометрии на пламенном фотометре. Предел обнаружения для K, Na – 0,01 мг/кг, относительное стандартное отклонение $S_r = 1–10\%$.

Определение фосфора и кремния выполнено методом спектрофотометрии. Предел обна-

ружения – 0,002 мг/кг, $S_r=1-10\%$ (для фосфора), 0,005 мг/кг, $S_r=5-20\%$ (для кремния).

Результаты и обсуждение

Результаты распределения химических элементов в суспензионных культурах арабидопсиса и теллунгиеллы, выращенных на основной среде культивирования (1), с добавлением 30 mM NaCl (2) и 100 mM NaCl (3) приведены в таблице. В растениях, выращенных на питательных средах с добавлением NaCl, происходят значительные изменения химического состава не только по Na, но и по другим элементам. Общая тенденция и динамика накопления химических элементов при

добавлении NaCl в целом сохранялась во всех экспериментах (табл.). Наиболее ярко эти закономерности видны на графиках, представленных на рисунке.

Важно отметить, что биомасса галофита теллунгиеллы нарастала в большем объеме (1,03–0,77 г, воздушно-сухой вес) даже при высокой концентрации NaCl (100 mM) в отличие от арабидопсиса, у которого вес уменьшался до 0,05–0,02 г при той же концентрации NaCl. Суспензионная культура арабидопсиса в больших количествах накапливает тяжелые металлы, Si и меньше – биофильные элементы K, Ca, Mg.

Таблица
Содержание химических элементов в суспензионных культурах (сухой вес, мг/кг)

Вариант опыта	Mn	Zn	Fe	Ca	Mg	Cu	Pb	Na	K	P	Si
Арабидопсис (эксперимент 1)											
1	159,6	86,5	307,7	4173,1	663,5	4,8	4,4	132,7	3316,3	3711,5	178,9
2	44,4	36,7	92,2	877,8	361,1	3,1	1,8	651,1	12018,3	3644,4	170
3	85,0	107	400	2100	300	31	11	5450	5675	2900	500
Арабидопсис (эксперимент 2)											
1	100	51,7	683	2166,7	533,3	13,3	26,7	616,7	7495,8	6216,7	316,7
2	51,5	57,5	218,2	1575,8	469,7	5,4	8,2	909,1	4837,9	7409,1	327,3
3	60	62	400	1200	280	16	24	1500	1590	3400	360
Арабидопсис (эксперимент 3)											
1	103,2	83,9	235,5	2903,2	887,1	5,8	7,4	706,4	15311,3	9677,4	148,4
2	103,3	84	258	3333,3	1300	15	22	1533,3	6541,7	12416,7	700
3	71,4	85,7	278,6	1285,7	335,7	10,7	26,4	2292,8	4825	7857,1	321,4
Теллунгиелла (эксперимент 1)											
1	64,1	39,7	70,5	1641,0	544,9	2,8	1,5	384	7316,0	2487,2	125,6
2	63,1	49,5	74,8	1330,1	626,2	2,1	0,9	910,7	18414,1	3592,2	145,6
3	41,6	37,7	58,4	571,4	448,0	2,5	2,5	1310,4	5053,9	3155,8	154,5
Теллунгиелла (эксперимент 2)											
1	145,6	73,5	110,3	2279,4	1066	3,7	1,9	483,8	12362,5	5058,8	191,2
2	90,5	51,3	67,6	1027,0	777	2,4	2,2	779,7	8968,2	3567,6	160,8
3	85,1	66	123,4	595,7	883	3,6	4,2	2640,4	9598,9	6148,9	217,0
Питательные среды для суспензионных культур мг/л											
1	6,3	2,5	8,1	153,8	36,9	0,15	0,043	7,9	1390	60,7	1,6
2	5,4	2,0	7,4	304,5	35,4	0,15	0,048	373	1383	61,2	1,1
3	5,4	2,0	7,2	144,6	33,8	0,26	0,041	1165	1395	57,1	2,3

Примечание: 1 – основная питательная среда культивирования (контроль); 2 – 30 mM NaCl; 3 – 100 mM NaCl

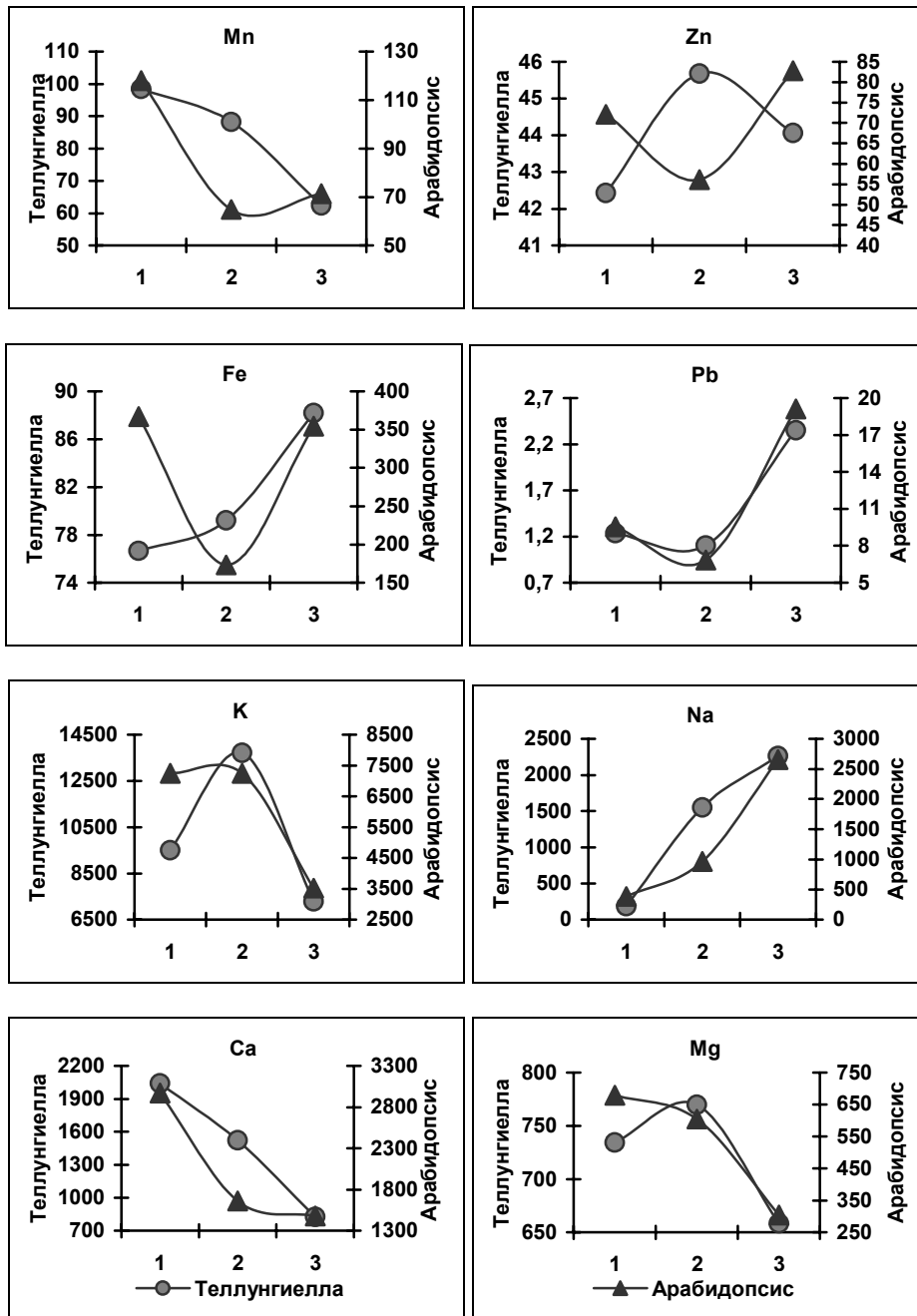


Рис. Зависимость накопления Mn, Zn, Fe, Pb, K, Na, Ca, Mg, (мг/кг) в клетках растений от концентрации NaCl.

1 – суспензионные культуры, растущие на основной питательной среде (контроль); 2 – 30 mM NaCl; 3 – 100 mM NaCl

Следует подчеркнуть, что общей тенденцией поведения химических элементов в клетках суспензионных культур изученных видов растений является накопление, наряду с Na, тяжелых металлов (Fe, Pb, Zn) и кремния. Это особенно характерно для растений, выращенных на питательных средах с максимальной концентрацией NaCl. При этом содержание эле-

ментов питания K, Ca, Mg резко падает до минимальных значений, что указывает на вынос эссенциальных элементов при солевом стрессе. Подобная закономерность наблюдается для многих растений, произрастающих в техногенных условиях, где происходит интенсивное накопление ксенобиотиков, представленных, главным образом, тяжелыми металлами [1].

По-видимому, это обусловлено нарушением осмотических процессов в растительной клетке. Основными антагонистами в данном случае являются К и Na.

Заключение

Накопление химических элементов в суспензионных клеточных культурах арабидопсиса и теллунгиеллы существенным образом зависит не только от концентрации NaCl в питательной среде, но и от генетических особенностей вида. Солевой стресс в растениях приводит к нарушению баланса эссенциальных элементов, сопровождающемуся интенсивным накоплением тяжелых металлов и выносом элементов питания К, Са, Mg. Таким образом, полученные нами данные могут быть использованы как в экологических исследованиях фитоценозов на засоленных почвах, так и при экологической экспертизе в зонах техногенного загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного междисциплинарного проекта СО РАН № 47.

Литература

1. Белоголова Г. А. Биогеохимическая характеристика природных и техногенных экосистем Южного Прибайкалья / Г. А. Белоголова, Г. В. Матяшенко, Р. Х. Зарипов // Экология. – 2000. – № 4. – С. 263–269.
2. Константинов Ю. М. Содержание эссенциальных элементов у теллунгиеллы (*Thellungiella salsuginea* (Pallas) O. E. Schltz) и арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. при моделировании условий засоления / Ю. М. Константинов [и др.] // Географ. вест. – 2008. – № 1(7). – С. 188–197.
3. Gong Q. Salinity stress adaptation competence in the extremophile *Thellungiella halophila* in comparison with its relative *Arabidopsis thaliana* / Q. Gong [et al.] // *The Plant J.* – 2005. – Vol. 44. – P. 826–839.
4. Liu A. R. Osmotica accumulation and its role in osmotic adjustment in *Thellungiella halophila* under salt stress / A. R. Liu, K. F. Zhao // *Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao.* – 2005. – Vol. 31. – P. 389–395.
5. Murashige T. Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. A. Scoog // *Plant Physiol.* – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.
6. Saleki R. Mutants of *Arabidopsis thaliana* capable of germination under saline conditions / R. Saleki, P. G. Young, D. D. Lefebvre // *Plant Physiology.* – 1993. – Vol. 101. – P. 839–845.
7. Taji T. Comparative genomics in salt tolerance between *Arabidopsis* and *Arabidopsis*-related halophyte *Salt Cress* using *arabidopsis* microarray / T. Taji [et al.] // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 135. – P. 1697–1709.
8. Tyagi A. K. Sodium chloride resistant cell line from haploid *Datura innoxia* Mill. A resistance trait carried from cell to plantlet and vice versa in vitro / A. K. Tyagi, A. Rashid, S. C. Maheshwari // *Protoplasma.* – 1981. – Vol. 105. – P. 327–332.

The changes of microelement composition in *Arabidopsis thaliana* (L.) heynh. and *Thellungiella salsuginea* (pallas) o.e. schltz plants under modeling of high salt content in soil

G. A. Belogolova¹, V. N. Shmakov², G. V. Matyashenko¹, Yu. M. Konstantinov²

¹ Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk,

² Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

Abstract. The changes in accumulation of microelements by suspension cell cultures in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. and *Thellungiella salsuginea* (Pallas) O. E. Schltz plant species under modeling of high salt content were studied. The intensive salt-accumulation in plant cells was attended by disbalance of essential elements.

Key words: *Arabidopsis thaliana*, *Thellungiella salsuginea*, microelements, modelling of mineralization.

Белоголова Галина Александровна

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1-а, а/я 4019

кандидат геолого-минералогических наук

ведущий научный сотрудник

тел. (395 2) 42–70–50, факс (395 2) 46–40–50

E-mail: gabel@igc.irk.ru

Belogolova Galina Aleksandrovna

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS
664033, Irkutsk, 1 a, Favorskogo St.

Ph. D. in Geology, leading research scientist

phone: (395 2) 42–70–50, fax: (395 2) 46–40–50

E-mail: gabel@igc.irk.ru

Шмаков Владимир Николаевич
Сибирский институт физиологии и биохимии
растений СО РАН
664033 г. Иркутск-33, ул. Лермонтова 132, а/я 317
кандидат биологических наук
старший научный сотрудник
лаборатории генетической инженерии растений
тел. (395 2) 42-49-03, факс (395 2) 51-07-54
E-mail: shmakovv@sifibr.irk.ru

Shmakov Vladimir Nikolaevitch
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry
SB RAS
664033, Irkutsk, 132, Lermontova St.
Ph. D. in Biology, senior research scientist
Laboratory of Plant Genetic Engineering
phone: (3952) 42-49-03, fax: (3952) 51-07-54
E-mail: yukon@sifibr.irk.ru

Матяшенко Григорий Васильевич
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1-а, а/я 4019
кандидат биологических наук
старший научный сотрудник
тел. (395 2) 46-06-00, факс (395 2) 46-40-50

Matyashenko Grogory Vasilievitch
Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS
664033, Irkutsk, 1 a, Favorskogo St.
Ph. D. in Biology, senior research scientist
phone: (395 2) 46-06-00, fax: (395 2) 46-40-50

Константинов Юрий Михайлович
Сибирский институт физиологии и биохимии
растений СО РАН
664033 г. Иркутск-33, ул. Лермонтова 132, а/я 317
доктор биологических наук
заведующий лабораторией генетической инженерии
растений
тел. (395 2) 42-49-03, факс (395 2) 51-07-54
E-mail: yukon@sifibr.irk.ru

Konstantinov Yuri Mikhailovitch
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry
SB RAS
664033, Irkutsk, 132, Lermontova St.
D. Sc. in Biology, Head of Laboratory of Plant Genetic
Engineering
phone: (3952) 42-49-03, fax: (3952) 51-07-54
E-mail: yukon@sifibr.irk.ru