

УДК 581.5 + 58.009

ПОКАЗАТЕЛИ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Еремченко О.З., Кусакина М.Г., Чудинова Л.А.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Минобрнауки России, Пермь, e-mail: eremch@psu.ru

Селекционный потенциал солеустойчивой флоры определяется не только числом видов, но и в не меньшей мере совокупностью внутривидовых эколого-физиологических особенностей растений. В зауральской лесостепи лекарственные растения *Thermopsis lanceolata*, *Sanguisorba officinalis*, *Glycyrrhiza korshinskyi* показали определенную устойчивость, произрастая в условиях низкого уровня засоления корнеобитаемого слоя при смешанном составе солей в почвах. *Thermopsis lanceolata* встречался при повышенном содержании хлоридов, сульфатов натрия и общей щелочности почв. Все растения характеризовались селективным поглощением Cl^- по сравнению с Na^+ в надземных и подземных органах. Эффективность механизмов солеустойчивости *Thermopsis lanceolata* обусловлена значительной аккумуляцией Cl^- и Na^+ , дифференцированным накоплением Cl^- в листьях по сравнению с корневищем. Наименее солеустойчивая *Glycyrrhiza korshinskyi* характеризовалась повышенным количеством Cl^- по сравнению с Na^+ , накоплением Na^+ в корневище относительно листьев.

Ключевые слова: лекарственные растения, солеустойчивость, засоление почвы, накопление Na^+ и Cl^-

SALT-TOLERANCE PARAMETERS OF SOME FOREST-STEPPE MEDICINAL PLANTS

Eremchenko O.Z., Kusakina M.G., Chudinova L.A.

Perm State University, Perm, e-mail: eremch@psu.ru

The selection potential of salt-tolerant floras is determined not only number of species, but also by set of intraspecific ecological-physiological features of plants. In trans-Ural forest-steppes medicinal plants *Thermopsis lanceolata*, *Sanguisorba officinalis*, *Glycyrrhiza korshinskyi* have shown tolerance, growing in conditions of low level of mixed rootlayer salinization. *Thermopsis lanceolata* was occurring in places with increased contents of chlorides, sulfates of sodium and total alkalinity of soil. All plants were characterized by selective absorption Cl^- in comparison with Na^+ in overground and underground bodies. Efficiency of salt-tolerance mechanisms *Thermopsis lanceolata* is caused by significant accumulation Cl^- and Na^+ , differentiated accumulation Cl^- in leaves in comparison with a rhizome. The least salt-tolerant *Glycyrrhiza korshinskyi* characterized by an increased amount of Cl^- compared with Na^+ , accumulation of Na^+ in roots relative to leaves.

Keywords: medicinal plants, salt-tolerance, salinization of soil, accumulation of Cl^- and Na^+

В системе экологической специализации видов растений мировой флоры особое место занимают солеустойчивые растения – группа физиологически и биохимически специализированных видов, способных нормально функционировать и продуцировать в условиях засоленной среды. Новая стратегия растениеводства рассматривает солеустойчивые лекарственные растения как ресурс для возделывания на засоленных почвах, где традиционные культуры не могут произрастать. Селекционный потенциал мировой солеустойчивой флоры определяется не только числом видов, населяющих регион или экологическое местообитание, но и в не меньшей мере совокупностью внутривидовых эколого-физиологических и биохимических особенностей растений. Генетические ресурсы галофитов России пока еще слабо изучены и оценены [8].

В основе солеустойчивости растений находятся эффективные механизмы солевого обмена. Для галофитов характерна аккумулирующая способность в отношении водорастворимых ионов, которые понижают водный потенциал клеток, облегчая посту-

пление воды. Перераспределение солей по органам растений осуществляется с затратой метаболической энергии, при участии переносчиков, встроенных в клеточные мембраны. Покрытосеменные галофиты накапливают ионы в листьях. Среди гликофитов наиболее устойчивы к избытку солей формы, в корнях которых идет аккумуляция ионов [1, 3, 4, 6, 7, 9, 10].

Возможность культивации лекарственных трав на засоленных почвах опирается на эффективность адаптивных механизмов растений. Солеустойчивость внутривидовых экотипов растений можно установить на территориях с природными популяциями. В лесостепном заказнике «Троицкий», расположенном на юге Челябинской области, 43,7% площади занимают луговые солонцы и около 5% – солончаки и солончаковые почвы, на которых обитают некоторые виды лекарственных растений.

Цель исследований – оценить адаптивный потенциал к засолению термопсиса ланцетовидного (*Thermopsis lanceolata*, R. Br), кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), солодки Кор-

жинского (*Glycyrrhiza korshinskyi*, Grig.), обитающих на луговых почвах в зауральской лесостепи [5].

Материалы и методы исследований

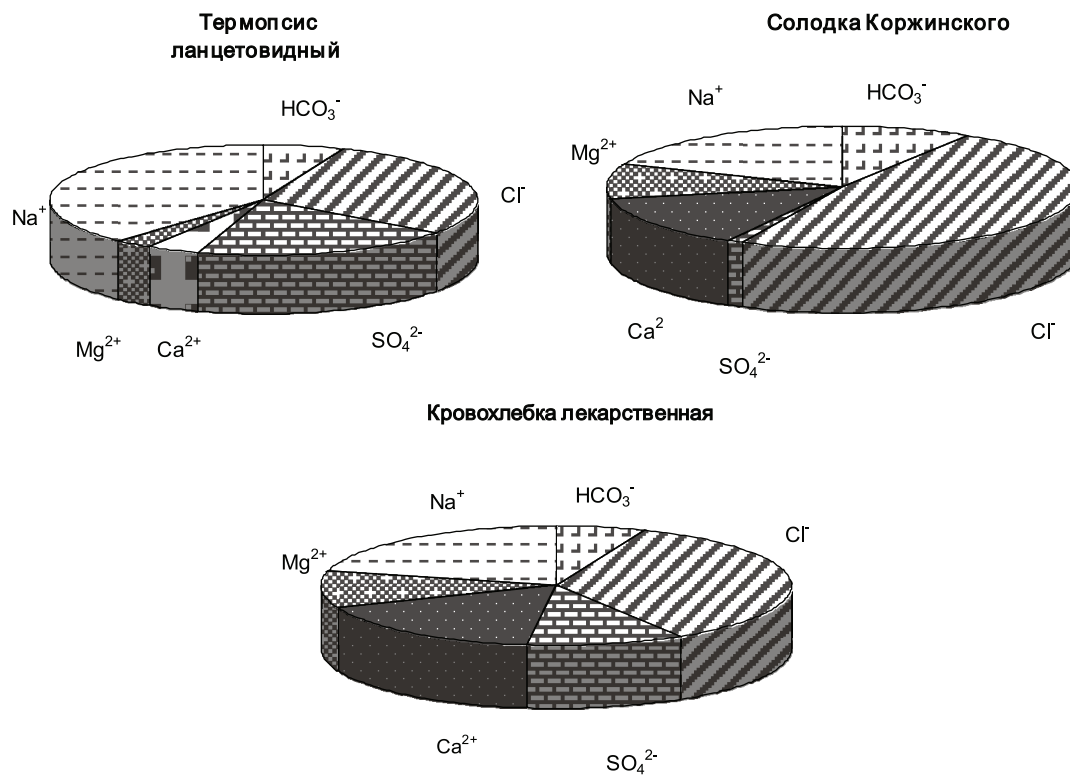
На территории заказника «Троицкий» в популяциях лекарственных трав в фазу вегетации – начала цветения отбирали почвенные и растительные пробы. Почвенные пробы взяты с глубины 0–20 см. В водной вытяжке из почв определили общую щелочность и количество Cl^- – титриметрическим методом, Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексометрическим методом, Na^+ – методом пламенной фотометрии, SO_4^{2-} – установлены по разности сумм катионов и анионов; сумма солей – расчетная. Для каждого вида исследованы почвы с 16-ти мест обитания.

В водной вытяжке из листьев и подземных органов растений определяли количество Cl^- – меркуриметрическим методом, Na^+ – методом пламенной фо-

тометрии. Всего проанализировано от 16 до 24 проб листьев и корневищ каждого вида растений.

Результаты исследований и их обсуждение

На территории заказника популяции исследуемых лекарственных трав обитают на луговых почвах с близким залеганием грунтовых вод. В местах произрастания лекарственных растений слой почвы 0–20 см характеризовался низким содержанием солей. Химизм засоления почвы в соответствии с составом ионов был гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридным натриевым под термописом, смешанным, при равном участии анионов, кальциево-натриевым – под кровохлебкой, гидрокарбонатно-хлоридным кальциево-натриевым – под солодкой (рисунок).



Соотношение ионов в водной вытяжке из почв (слой 0–20 см) в местах произрастания лекарственных трав

Содержание водорастворимого Na^+ в почвах колебалось в диапазоне от 0,25 до 5,35 мг·экв/100 г почвы. Термопис встречался на почвах с более высоким уровнем содержания натрия, там, где популяции двух других видов не произрастали (табл. 1). Солодка и кровохлебка произрастали при одинаковом уровне содержания Na^+ в слое почвы 0–20 см, однако популяции последней обнаружены при более высоком количестве натрия в почве.

Содержание водорастворимых Cl^- в почвенных слоях 0–20 см варьировалось от

0,77 до 5,67 мг·экв/100 г почвы. Термопис произрастал при большем количестве Cl^- в почве, популяции солодки и кровохлебки встречались при одинаковом засолении хлоридами (табл. 1).

Общая щелочность водной вытяжки из корнеобитаемых слоев почв варьировалась в пределах от 0,09 до 1,27 мг·экв/100 г почвы. Под термописом почва характеризовалась повышенным уровнем щелочности. Доверительные интервалы общей щелочности под популяциями солодки и кровохлебки приблизительно совпадали (табл. 1).

Таблица 1

Содержание водорастворимых ионов в корнеобитаемом слое почв в местах обитания лекарственных растений, мг-экв/100 г

Показатель	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Сумма солей, %
<i>Термопсис ланцетовидный</i>				
Среднее значение	3,30	2,52	0,52	0,26
95 % -й доверительный интервал	2,69–3,91	2,03–3,02	0,40–0,63	0,22–0,31
<i>Кровохлебка лекарственная</i>				
Среднее значение	0,82	1,41	0,23	0,13
95 % -й доверительный интервал	0,56–1,09	1,29–1, 52	0,17–0,30	0,11–0,14
<i>Солодка Коржинского</i>				
Среднее значение	0,54	1,37	0,27	0,09
95 % -й доверительный интервал	0,43–0,65	1,22–1,53	0,19–0,34	0,08–0,10

Содержание водорастворимых SO₄²⁻ в почвах под популяциями лекарственных растений варьировалось от 0,07 до 3,35 мг-экв/100 г почвы, достигало наибольших величин в местах произрастания термопсиса ланцетовидного.

Сумма водорастворимых солей в слое 0–20 см варьировала от 0,09 до 0,36% (табл. 1). Термопсис произрастал при наиболее высоком засолении, что указывает на его относительно повышенную солеустойчивость. Несколько меньше сумма солей в луговых почвах под кровохлебкой. Солодка произрастала при минимальном количестве легкорастворимых солей и узком интервале изменчивости их содержания в почве.

Таким образом, установлено, что на территории заказника лекарственные растения произрастали в условиях низкого засоления при смешанном химизме (с участием HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), термопсис ланцетовидный – при повышенном содержании хлоридов, сульфатов натрия и общей щелочности почвы по сравнению с двумя другими видами трав. Кровохлебка лекарственная и солодка Коржинского обитали при относительно пониженном засолении, при этом кровохлебка произрастала при несколько более высокой концентрации солей натрия в почве.

В условиях засоленной почвенной среды в растениях накапливается значительное количество ионов Na⁺ и Cl⁻. Определенное количество Na⁺ необходимо для формирования сосудистой и механической систем растений. Натрий наряду с другими ионами играет осмотическую и ионбалансирующую роль, выполняет более специфическую функцию в конформационных изменениях ферментов и при катализе. Однако при засолении почвы может идти избыточное накопление Na⁺. Происходит чрезмерная гидратация коллоидов

пластид и протоплазмы ассимилирующих клеток, что приводит к снижению интенсивности фотосинтеза. С увеличением содержания натрия образование биокolloидов плазмы сильно увеличивается. Повышение концентрации Na⁺ в цитоплазме нарушает ход метаболических процессов из-за вызываемого им ионного дисбаланса и токсичности натрия. Ионы Cl⁻ в растениях находятся преимущественно в ионной форме, участвуют в осморегуляции и ионном гомеостазе [1, 2, 6].

У термопсиса ланцетовидного количество Na⁺ варьировалось в листьях от 302 до 1011 мг/100 г с.м., в подземных органах от 385 до 794 мг/100 г с.м., достоверных различий между органами по содержанию иона не установлено (табл. 2).

Содержание Cl⁻ в органах термопсиса колебалось от 1093 до 3642 мг/100 г с.м. и заметно превышало накопление натрия (табл. 2). В корнях содержится в 2–3 раза меньше свободных ионов хлора, чем в надземных органах. Достоверность различий между надземными органами и корнями подтверждает активный механизм поглощения из почвы и транспорта ионов хлора в листья. Широкий интервал накопления Cl⁻ в листьях, вероятно, указывает на способность термопсиса произрастать в достаточно большом диапазоне засоления почвы этим ионом. Явление дифференцированного поглощения Cl⁻ с преимущественным накоплением в надземных органах выражено у солеустойчивых растений лесостепного заказника, при этом они значительно больше аккумулируют Cl⁻, чем Na⁺ (Еремченко и др., 2004). Следовательно, уровень накопления Cl⁻, их дифференциация в органах отражает определенную солеустойчивость термопсиса ланцетовидного.

Содержание Na^+ в органах кровохлебки в среднем невысокое и варьировалось от 47 до 493 мг/100 г с.м., листья и корневища существенно не отличались по этому иону (табл. 2). Количество Cl^- в органах кровохлебки заметно выше, чем натрия, и колебалось в пределах от 1134 до

1765 мг/100 г с.м. (табл. 2). Сравнительный анализ показывает, что уровень аккумуляции ионов хлора сопоставим с солеустойчивыми растениями, произрастающими на солонцах заказника, однако отсутствует избирательная аккумуляция в листьях по сравнению с корневищами.

Таблица 2

Накопление Na^+ и Cl^- в органах лекарственных растений, мг/100 г сухой массы

Органы растений	Na^+		Cl^-	
	среднее	95%-й доверительный интервал	среднее	95%-й доверительный интервал
<i>Термопсис ланцетовидный</i>				
Листья	672	549–796	2344*	1992–2696
Подземные	629	561–698	1094	938–1251
<i>Кровохлебка лекарственная</i>				
Листья	164	97–232	1399	1329–1469
Подземные	138	100–177	1210	1111–1309
<i>Солодка Коржинского</i>				
Листья	131*	104–157	1634	1469–1799
Подземные	166	139–193	1549	1307–1791

Примечание. * – достоверные различия по содержанию ионов в листьях и корневищах.

Содержание Na^+ в органах солодки колеблется в пределах от 65 до 259 мг/100 г с.м. Количество Na^+ в корневищах солодки достоверно повышено по сравнению с листьями. Содержание Cl^- в органах солодки выше по сравнению с Na^+ и изменялось в значительном интервале от 625 до 2804 мг/100 г с.м., на этом фоне достоверной разницы между органами по количеству ионов не установлено (табл. 2)

Выводы

1. Популяции лекарственных растений показали определенную солеустойчивость, произрастая в условиях засоления корнеобитаемого слоя луговых почв зауральской лесостепи. Термопсис ланцетовидный встречался при наибольшем содержании хлоридов, сульфатов натрия и общей щелочности почв. Кровохлебка лекарственная обитала в местах несколько большего засоления почв по сравнению с солодкой Коржинского.

2. Солеустойчивость термопсиса ланцетовидного обусловлена значительным накоплением ионов Na^+ и Cl^- в органах, селективным поглощением Cl^- по срав-

нению с Na^+ , избирательной аккумуляцией Cl^- в листьях по сравнению с корневищем.

2. У кровохлебки лекарственной установлено относительно пониженное количество ионов Na^+ , селективное накопление Cl^- по сравнению с Na^+ , повышенная аккумуляция Cl^- в листьях по сравнению с корневищами.

3. Наименее солеустойчивая солодка Коржинского характеризовалась селективным накоплением Cl^- по сравнению с Na^+ , повышенным накоплением Na^+ в корневище относительно листьев.

Список литературы

1. Участие дальнего транспорта Na^+ в поддержании градиента водного потенциала в системе среда → корень → лист у галофита *Sueda altissima* / Ю.В. Балнокин, А.А. Котов, Н.А. Мясоедова, Г.Ф. Хайлова и др. // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – № 4. – С. 549–557.
2. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, № 5. – С. 482–493.
3. Еремченко О.З., Орлова Н.В., Кайгородов Р.В. Динамика процессов восстановления залежных солонцовых экосистем Южного Зауралья // Экология. – 2004. – № 2. – С. 99–106.

4. Захарин А.А. Особенности водно-солевого обмена растений при солевом стрессе // *Агрохимия*. – 1990. – № 8. – С. 69–79.

5. Конспект флоры Троицкого лесостепного заповедника. – Пермь, 1999. – 52 с.

6. Палладина Т.А. Роль протонных насосов плазмалеммы и тонопласта в устойчивости растений к солевому стрессу // *Успехи современной биологии*. – 1999. – Т. 119, № 5. – С. 451–461.

7. Сравнительный анализ функционирования защитных систем у представителей галофитной и гликофитной флоры в условиях прогрессирующего засоления / Н.Л. Радюкина, А.В. Карташов, Ю.В. Иванов, Н.И. Шевякова, В.В. Кузнецов // *Физиология растений*. – 2007. – Т. 54, № 6. – С. 902–911.

8. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. Галофитное растениеводство (эколого-биологические основы). – М.: Изд-во «Советский спорт», 2005. – 404 с.

9. Kurban H., Saneoka H., Nehira K. et al. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* and *Vigna radiate* // *Soil Sci. and Plant Nutr.* – 1998. – Vol. 44. № 4. – P. 589–597.

10. Waisel Y. *Biology of halophytes*. – New York-London: Acad. press., 1972. – 154 p.

References

1. Uchastie dal'nogo transporta Na⁺ v podderzhanii gradienta vodnogo potenciala v sisteme sreda → koren' → list u galofita *Sueda altissima* / Ju.V. Balnokin, A.A. Kotov, N.A. Mjasoedova, G.F. Hajlova i dr. // *Fiziologija rastenij*. 2005. T. 52. no. 4. pp. 549–557.

2. Veselov D.S., Markova I.V., Kudojarova G.R. Reakcija rastenij na zasolenie i formirovanie soleustojchivosti // *Uspеhi sovremennoj biologii*. 2007. T. 127, no. 5. pp. 482–493.

3. Eremchenko O.Z., Orlova N.V., Kajgorodov R.V. *Dinamika processov vosstanovlenija zaleznyh soloncovyh*

jekosistem Juzhnogo Zaural'ja // *Jekologija*. 2004. no. 2. pp. 99–106.

4. Zaharin A.A. Osobennosti vodno-solevogo obmena rastenij pri solevom stresse // *Agrohimiya*. 1990. no. 8. pp. 69–79.

5. Konspekt flory Troickogo lesostepnogo zapovednika. Perm', 1999. 52 p.

6. Palladina T.A. Rol' protonnyh nasosov plazmalemy i tonoplasta v ustojchivosti rastenij k solevomu stressu // *Uspеhi sovremennoj biologii*. 1999. T. 119, no. 5. pp. 451–461.

7. Sravnitel'nyj analiz funkcionirovanija zashhitnyh sistem u predstavitelej galofitnoj i glikofitnoj flory v uslovijah progressirujushhego zasolenija / N.L. Radjukina, A.V. Kartashov, Ju.V. Ivanov, N.I. Shevjakova, V.V. Kuznecov // *Fiziologija rastenij*. 2007. T. 54, no. 6. pp. 902–911.

8. Shamsutdinov Z.Sh., Shamsutdinov N.Z. *Galofitnoe rastenievodstvo (jekologo-biologicheskie osnovy)*. M.: Izd-vo «Sovetskij sport», 2005. 404 p.

9. Kurban H., Saneoka H., Nehira K. et al. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* and *Vigna radiate* // *Soil Sci. and Plant Nutr.* 1998. Vol. 44. no. 4. pp. 589–597.

10. Waisel Y. *Biology of halophytes*. New York-London: Acad. press., 1972. 154 p.

Рецензенты:

Боронникова С.В., д.б.н., заведующая кафедрой ботаники и генетики растений, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Министерство образования и науки РФ, г. Пермь;

Ширшев С.В., д.м.н., профессор, заведующий лабораторией иммунорегуляции, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 01.08.2013.