

4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агроресомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

УДК 630.181.351/631.53/635.9

DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.009.58-64

## Исследования реакций видов *Salix* на воздействия солевыми растворами

Анастасия Аркадьевна Вергунова✉, e-mail: aelestel@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0200-4721

Иван Николаевич Бабухин, ORCID: 0000-0002-0778-8609

Ольга Борисовна Сокольская, д.с.-х.н., ORCID: 0000-0003-1723-1289

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, e-mail: sokolskaya.olg@yandex.ru, 410012, улица Советская 60, Саратов, Россия

**Аннотация.** В условиях засоленных почв важна солеустойчивость зеленых насаждений. Виды деревьев и кустарников имеют различные особенности выживания при солевом воздействии на них. Выявление наиболее солеустойчивых актуально и необходимо. Новизна исследования: выявлена возможность выращивания видов *Salix* в условиях засоления почв, что имеет практическую значимость как для территорий Левобережья, так и некоторых участков Правобережья Саратовской области. Испытания проводились в период 2020-2022 гг. В статье сравниваются результаты прорастания семян, корневого оттока  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  и изменения листьев двух видов ивы (*Salix matsudana* Koidz. и *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*) при солевом воздействии. Был применён сравнительный анализ воздействия растворами  $\text{NaCl}$  различной концентрации. *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis* показал более высокую скорость прорастания семян и отток  $\text{Na}^+$  из корней проростков, чем *Salix matsudana* Koidz. при солевом воздействии на них. Установлено, что при обработке 200 мМ  $\text{NaCl}$  семена *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* имели всхожесть 23%, тогда как семена *S. matsudana* Koidz. не проросли. Тем не менее в необработанных контрольных условиях оба вида показали одинаковую всхожесть ( $\pm 75\%$ ). Результаты исследования показали, что *S. ledebouriana* var. *pyramidalis* имеет более высокую солеустойчивостью, чем *S. matsudana* Koidz, и является наиболее перспективным видом для озеленения и улучшения комфортной среды на засоленных и щелочных почвах населенных пунктов Саратовской области.

**Ключевые слова:** *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*, *Salix matsudana* Koidz., семена, всхожесть, подростки, сеянцы, корневой отток, энергия прорастания, солевое воздействие.

**Финансирование.** Работа реализована по теме ВИП ГЗ (важнейший инновационный проект государственного значения) по распоряжению Правительства РФ номер 2515-р от 02.09.2022 «Разработка принципов построения и обеспечения функционирования системы мониторинга опустынивания территории аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов» в части подготовки структуры и методики разработки субрегиональной национальной программы действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) Саратовской области на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

**Цитирование.** Вергунова А.А., Бабухин И.Н., Сокольская О.Б. Исследования реакций видов *Salix* на воздействия солевыми растворами // Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 58-64. DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.009.58-64

Поступила в редакцию: 13.12.2022

Принята к печати: 15.03.2023

**Введение.** Значительное количество земель в Российской Федерации имеют те или иные засоления с подтоплением или близким расположением грунтовых вод, включая территории Саратовской области. Часть из них засаливаются при помощи реагентов в зимнее время, в связи с этим необходимо решать задачу о введении биоразнообразия солеустойчивых зеленых насаждений в населенных пунктах.

Проблемами озеленения населенных пунктов на засоленных почвах и их решению уделялось много внимания. Например, опыты выращивания растений на засоленных почвах Поволжья рассматривались в работах Аблязова Д.Г., Ефремовой К.Н., Сокольской О.Б., Сальникова А.Л. [1], Буланого Ю.И., Чеботаревой О.В. [3], Лысенко Т.М. [9]. Культивированию растений на засоленных почвах в России уделяли особое внимание такие учёные,

как Бадран А., Савин И.Ю. [2], Иванищев В.В., Евграфкина Т.Н., Бойкова О.И., Жуков Н.Н. [6], Кулакова Н.Ю., Шабанова Н.П. [7].

Галофитная растительность представлена в работах Новиковой Л.А., Васюкова В.М., Горбушиной Т.В., Пчелинцевой Т.И. [10], Савича В.И., Сорокина А.Е., Мохаммади Ш., Ахмада Р., Нафетдинова Ш.Ш. [11], Сокольской О.Б., Аблязова Д.Г. [12].

Известна одна из пород зеленых насаждений, приспособленная к повышенному уровню грунтовых вод – *Salix*, но не установлено, какие именно виды ивы солеустойчивы, несмотря на то, что зарубежные специалисты из Китая моделировали среду солевого стресса «...в системе гидропоники с различными концентрациями  $\text{NaCl}$  в однолетних ветвях *Salix alba* L. в качестве тестовых материалов». Они изучали их рост, а также поглощение, транспортировку и распределение ионов в корнях

и листьях, включая изменение параметров флуоресценции через 20 дней в условиях гидропоники [14]. Исследовались механизмы реакции растений на засоленно-щелочной стресс [15].

Тем не менее не было исследований видов *Salix* на солевой стресс в условиях Саратовского Поволжья. В связи с этим нами были проведены исследования реакций двух видов *Salix* при воздействии на них солевыми препаратами. В научном отношении такие исследования позволяют расширить представления о перспективности ив в озеленении территорий с засоленными почвами, что повысит биоразнообразие в населенных пунктах.

Целью исследования явилось сравнение прорастания семян, корневого оттока  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  и изменений листьев двух видов ивы (*Salix matsudana* Koidz. и *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*) при солевом воздействии.

**Материал и методика исследования.** Исследования проводили в лабораторных условиях и проводились в форме испытания всхожести семян видов *Salix matsudana* Koidz. и *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*. Испытания велись в период 2020-2022 гг.

Использовался сравнительный анализ двух видов *Salix* на воздействие растворами NaCl различной концентрации.

Тест на всхожесть семян проводили следующим образом: семена двух видов ив в количестве 40 шт. высевали в чашках Петри с фильтровальной бумагой, содержащих дистиллированную воду (контроль) или растворы NaCl различной концентрации (100, 150 и 200 мМ). Эти семена культивировали в течение недели при постоянной температуре +22 °С, также измеряли скорость прорастания семян, энергию прорастания и индекс всхожести. Повторность эксперимента – 4 раза.

Определяли всхожесть семян отношением числа проросших семян к общему числу семян, взятых для проращивания, выраженную в процентах:  $V = n / N \times 100$ , где  $V$  – всхожесть,  $n$  – число проросших семян,  $N$  – число взятых на анализ семян.

Устанавливали количественное значение энергии прорастания подсчетом семян, нормально проросших за первые 4 дня, деленных на общее их количество. Далее результат умножали на 100%.

Скорость прорастания семян находили средне-взвешенным количеством дней, за которое прорастает одна семянка. Этот показатель рассчитывали по формуле:

$$V_n = \frac{(A1 \times 1) + (A2 \times 2) + \dots + (An \times n)}{(A1 + A2 + \dots + An)}$$

где:  $V_n$  – скорость прорастания семян (суток),  $A(n)$  – количество семян, проросших в 1, 2, ..., n сутки прорастания; 1, 2, ..., n – сутки проращивания семян.

Далее выявляли индекс всхожести (GI) по формуле:  $GI = \sum (Gt/Dt)$ , где  $Gt$  – количество проросших семян в день  $t$ , а  $Dt$  – время, соответствующее  $Gt$  в днях, которую использовали из методики Zhai K., Ji Z., Jiang D., Zhao, G., Zhong, T. [16], а также указанной

методики в исследовании учёных А. Бадрана, И.Ю. Савина [2].

Измерение оттока  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  проводились таким образом: проростки, выращенные в дистиллированной воде, использовали для замера выхода  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ . Гидропонные проростки (недельные) подвергали воздействию дистиллированной воды (контроль) или раствора NaCl (50 и 100 мМ) в течение 12 ч, а сегменты корней фиксировали в мерном растворе (0,1 мМ KCl, 0,1 мМ CaCl<sub>2</sub>, 0,1 мМ MgCl<sub>2</sub>, 0,5 мМ NaCl и 0,3 мМ MES, pH 5,8) для измерения потока  $\text{Na}^+$ . Чистые потоки  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  были измерены с использованием методов фитотестирования, которые используются в Российской Федерации, как наиболее короткий срок экспонирования – метод фитотестирования ФР.1.39.2006.02264 подразумевает процедуру, длительностью до 7 суток [4,5,8]. Методику определения всхожести семян применяли по государственным стандартам ГОСТ 13056.6-97 (*Семена деревьев и кустарников: Метод определения всхожести / В указателе «Национальные стандарты» 2012 год ОК 65.020.40.* – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025567>).

Исследования опирались на методы и способы фитотестирования почв, описанные в работе Тишина А.С., Тишиной Ю.Р. [13].

Измерение содержания  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  испытывали следующим образом: двухмесячные проростки, выращенные в почве (1,5 кг), орошали раствором соли (500 мл) различной концентрации (0, 50, 100, 150 и 200 мМ) в течение трёх суток. После обработки засолением образцы листьев сеянцев собирали, взвешивали и сушили. Высушенные образцы взвешивали, а затем расщепляли в 8 мл  $\text{HNO}_3$  и 3 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  в течение 50 мин при 180 °С с использованием прибора для микроволнового разложения. Содержание  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в листьях измеряли методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES, ИСП-ОЭС) [8], использовали методики количественного определения методами атомно-эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭС) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Объектами исследования стали виды *Salix matsudana* Koidz. и *Salix ledebouriana* var. *Pyramidalis*, которые ранее нами были высажены в парке города Вольск Саратовской области в возрасте 5-8 лет, и от которых мы брали материал в виде семян для исследования, а также их двухмесячные проростки, выращенные в почве (1,5 кг) с орошением раствором NaCl (500 мл) различной концентрации (0, 50, 100, 150 и 200 мМ) в течение трёх суток (конец апреля 2022 г.), были высажены в местах с повышенным содержанием соли.

**Результаты и их обсуждение.** В результате исследования нами установлено, что всхожесть, энергия прорастания и индекс всхожести семян *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* оказались значительно выше, чем у *S. matsudana* Koidz. при обработке 150 и 200 мМ NaCl (рисунки 1.1-1.4).

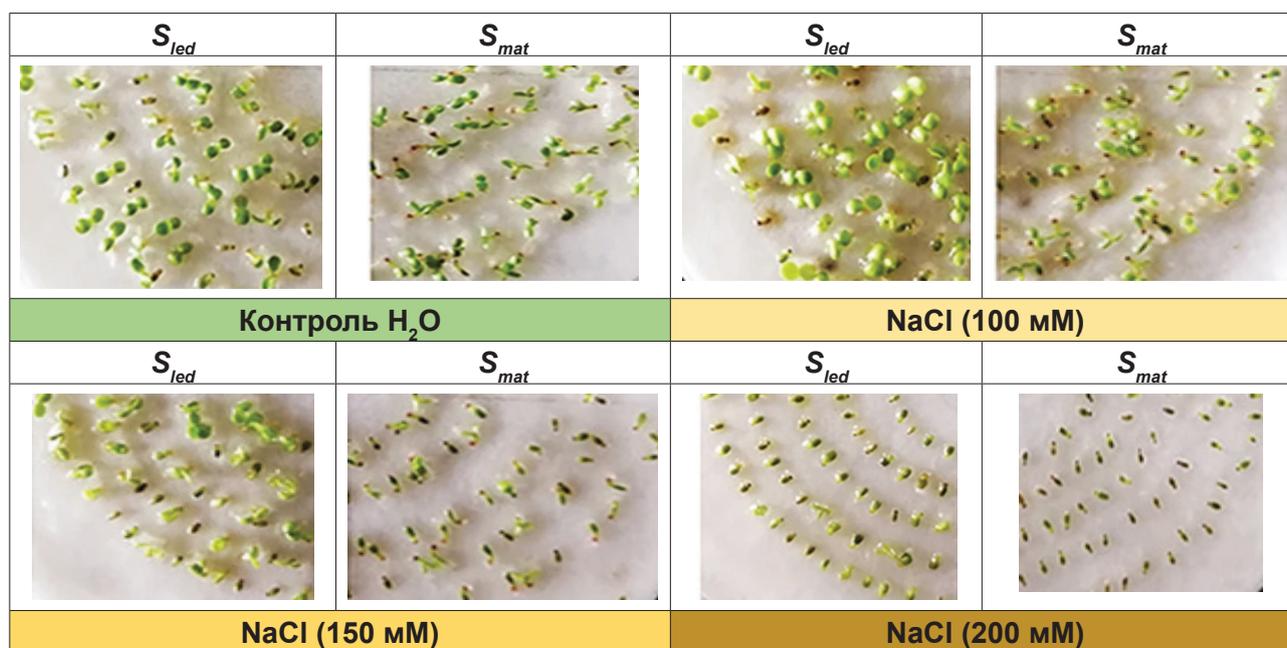


Рисунок 1.1. Соотношение скорости прорастания семян *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) в условиях нормальных и в ситуациях с добавлением солевого раствора разной концентрации

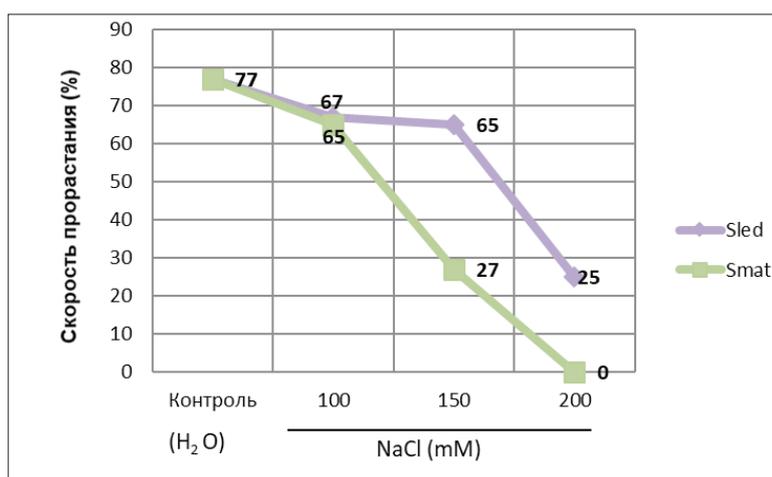


Рисунок 1.2. Всхожесть семян  $S_{led}$  и  $S_{mat}$  прорастаемых на фильтровальной бумаге, на контроле и в растворе NaCl (100, 150 и 200 мМ) (7 суток)

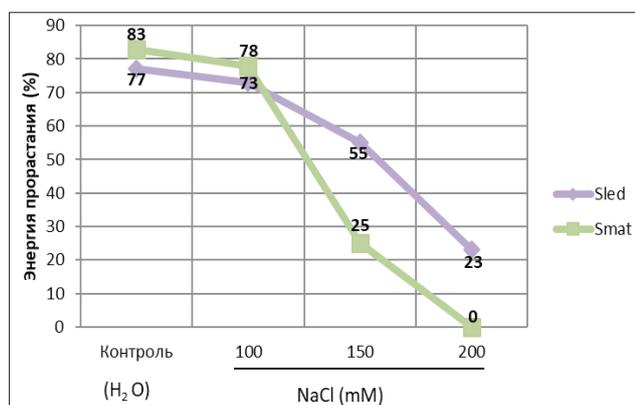


Рисунок 1.3. Энергия прорастания семян

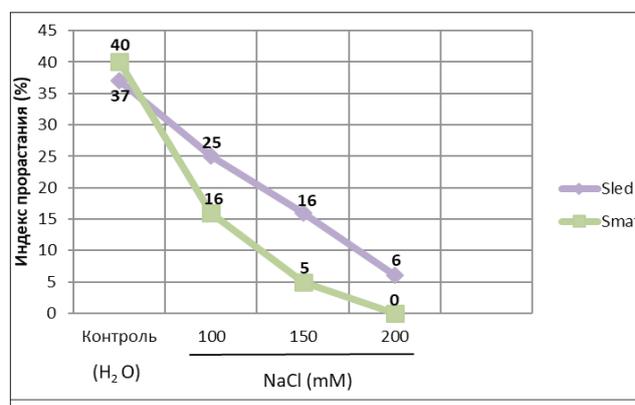


Рисунок 1.4. Индекс всхожести семян (7 суток)

Установлено, что при обработке 200 мМ NaCl семена *S.ledebouriana* var. *Pyramidalis* имели всхожесть 23%, тогда как семена *S. matsudana* Koidz. не проросли. Тем не менее в необработанных контрольных условиях оба вида показали одинаковую всхожесть ( $\pm 77\%$ ).

Следует отметить, что потоки Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в корнях проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* и *S. matsudana* Koidz. сравнивали с помощью методов фитотестирования. Результаты этого исследования показали, что обработка NaCl вызывала увеличение скорости оттока Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в корнях обоих проростков и что скорость оттока Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> из корней  $S_{led}$  превышала скорость оттока у  $S_{mat}$  в условиях солевого воздействия. В контрольных условиях существенной разницы между Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> не наблюдалось, в них оба вида демонстрировали слабый отток Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup>, что видно на рисунках 2.1, 2.2.

Таким образом, данные указывают на то, что *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* имеет более высокую скорость прорастания семян и способность корней проростков абсорбировать Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в условиях солевого стресса, чем у *S. matsudana* Koidz.

Нами были проведены сравнительные анализы влияния солевого воздействия на рост сеянцев двух видов ивы (рисунки 3.1, 3.2).

Определено, что после обработки NaCl (150 мМ) содержание Na<sup>+</sup> в листьях *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* стало меньше по сравнению с листьями *S. matsudana* Koidz. на 0,14 г/кг сухого вещества, а содержание K<sup>+</sup> наоборот несколько выше на 3 г/кг сухого вещества, чем в листьях *S. matsudana* Koidz. Однако при увеличении дозы соли до 200 мМ наступает дефицит K<sup>+</sup> у двух исследуемых видов, что выразилось в вымирании подростка.

К тому же листья *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* обнаружили меньшее снижение сырой массы и максимальной фотохимической эффективности (Fv/Fm), чем листья *S. matsudana* Koidz., но они не показали разницы в сухой массе (рисунки 3.3-3.5). Однако при тах обработке солью Fv/Fm у одного и другого вида с разницей в 10% (у *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* выше значение, а у *S. matsudana* Koidz. ниже), а следовательно, устойчивее к засолению.

Данные результаты показали, что у *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* в листьях наблюдается меньшее накопление Na<sup>+</sup>, и потери воды меньше при солевом воздействии, чем у *S. matsudana* Koidz. Ограничение поступления соли (преимущественно Na<sup>+</sup>) корнями и поддержание более низкого накопления Na<sup>+</sup> в тканях или клетках является одной из основных стратегий солеустойчивости, выработанных растениями.

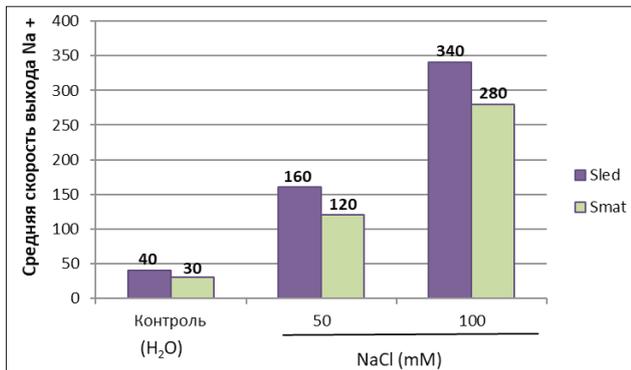


Рисунок 2.1. Средняя скорость выхода Na<sup>+</sup> *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) в контрольных (нормальных) условиях и в условиях солевого воздействия

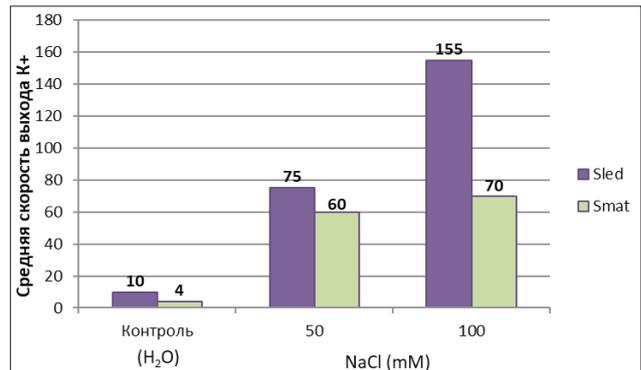


Рисунок 2.2. Средняя скорость выхода K<sup>+</sup> *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) в контрольных (нормальных) условиях и в условиях солевого воздействия

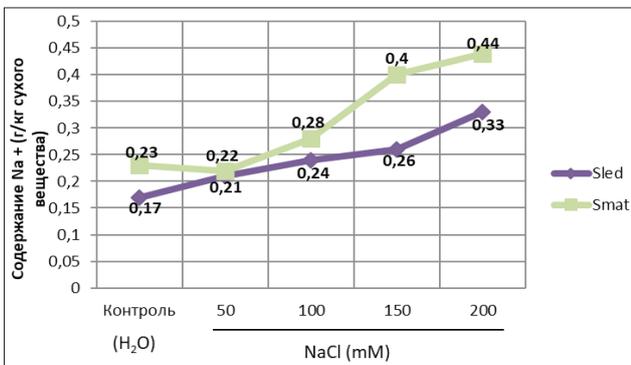


Рисунок 3.1. Сравнительный анализ фенотипов проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) в контрольных (нормальных) условиях и в условиях солевого воздействия на содержание Na<sup>+</sup>

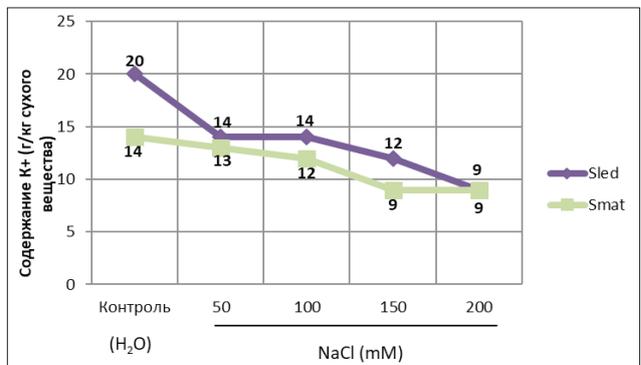


Рисунок 3.2. Сравнительный анализ фенотипов проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) в контрольных (нормальных) условиях и в условиях солевого воздействия на содержание K<sup>+</sup>

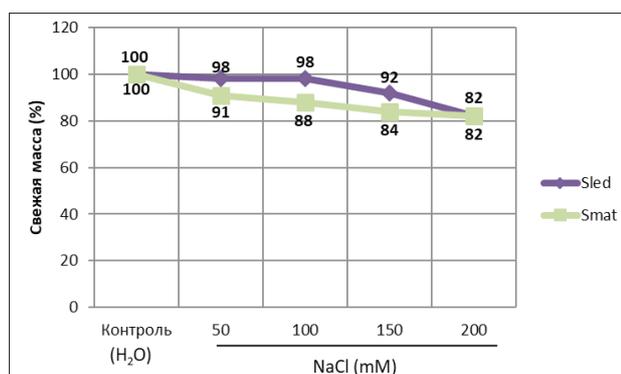


Рисунок 3.3. Сравнительный анализ фенотипов проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) свежей массы листьев

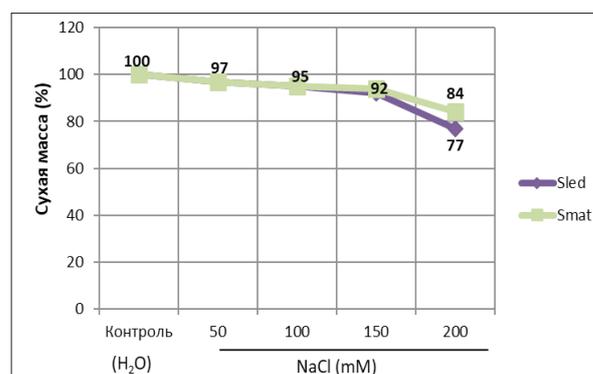


Рисунок 3.4. Сравнительный анализ фенотипов проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* ( $S_{led}$ ) и *S. matsudana* Koidz. ( $S_{mat}$ ) сухой массы листьев

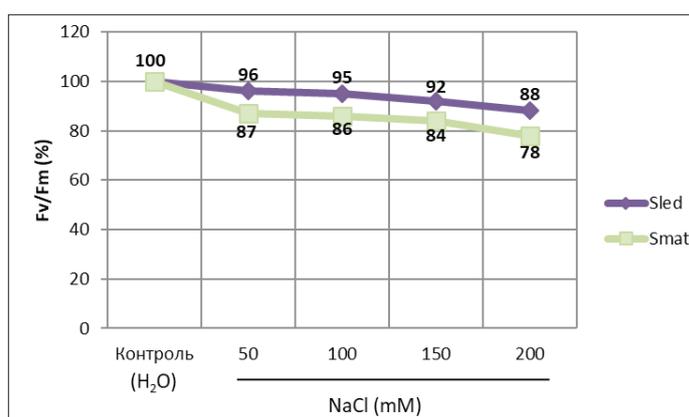


Рисунок 3.5. Сравнительный анализ максимальной фотохимической эффективности листьев (Fv/Fm)

**Заклучение.** Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы: 1) определено, что в листьях *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* накопление  $Na^+$  при солевом воздействии меньше, чем в листьях *S. matsudana* Koidz., соответственно потери воды меньше, поэтому сеянцы вида *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* устойчивее к  $NaCl$ , чем *S. matsudana* Koidz.; 2) установлено, что более высокий выход  $Na^+$  в корнях может снизить накопление  $Na^+$  и его токсическое действие при солевом воздействии; 3) выявлено, что ограничение поступления соли (главным образом  $Na^+$ ) корнями и поддержание более низкого накопления  $Na^+$  в тканях или клетках растений является одной из основных стратегий солеустойчивости исследуемых видов зеленых насаждений; 4) достоверно, что более активная способность корневого оттока  $Na^+$  и меньшее накопление  $Na^+$  листьями проростков *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* в условиях солевого воздействия способствовали их солеустойчивости.

Следовательно, считаем, что *S. ledebouriana* var. *Pyramidalis* имеет возможность стать одним из самых привлекательных видов растений для озеленения населенных пунктов на территориях не только увлажненных грунтов, но на засоленных и щелочных почвах.

#### Литература:

1. Аблязов Д.Г., Ефремова К.Н., Сокольская О.Б., Сальников А.Л. Технология посадки декоративных растений на засоленных почвах Заволжья // Аграрный научный журнал. 2017. № 5. С.3-7.
2. Бадран А., Савин И.Ю. Морфологический отклик горького миндаля (*Prunus Amygdalus*) на азотное наноудобрение на ранних стадиях развития // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронмия и животноводство. 2017. Т. 12. № 4. С. 312-322. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322
3. Буланый Ю.И., Чеботарева О.В. Очерк истории изучения галофильной флоры Саратовской области // Экология и география растений и сообществ Среднего Поволжья. Тольятти: Кассандра, 2011. С. 64-71.
4. Воронина Л.П., Поногайбо К.Э. Подход к выбору методов фитотестирования для исследования почв //Агрохимия. 2021, № 9. С. 75-79. DOI: 10.31857/S000218812109012X
5. Горшкова Т.А., Макаренко Е.С., Казакова Е.А., Амосова Н.В., Павлова Н.Н., Мартиросян Ю.М. Анализ методов фитоиндикации и фитотестирования антропогенного нарушения среды на примере модельных растительных сообществ // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2013. № 3 (146). Выпуск 22. С.8-13.
6. Иванищев В.В., Евграшкина Т.Н., Бойкова О.И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 28-42.
7. Кулакова Н.Ю., Шабанова Н.П. Засоление почв –

одна из проблем городского озеленения // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2019. С.127-131.

8. Литвинский В.А., Гришина Е.А., Носиков В.В., Сушкова Л.О. Атомно-эмиссионная спектроскопия и микроволновая минерализация как комплексный инструментальный подход для определения содержания свинца в растениях и продукции растениеводства // Плодородие. 2018. № 6(105). С. 58-62. DOI 10.25680/S19948603.2018.105.19

9. Лысенко Т. М. Растительность засоленных почв Поволжья в пределах лесостепной и степной зон. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 329 с.

10. Новикова Л.А., Васюков В.М., Горбушина Т.В., Пчелинцева Т.И. Галофитная растительность Малосердобинского района Пензенской области // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. № 3. С. 77-86. DOI 10.17816/snv2021103111

11. Савич В.И., Сорокин А.Е., Мохаммади Ш., Ахмад Р., Нафетдинов Ш.Ш. Оптимизация развития растений при засолении почв // Вестник Хорезмской академии Маъмуна. 2020. № 8. С. 50-53.

12. Сокольская О.Б., Аблязов Д.Г. Особенности озеленения на засоленных почвах Поволжья // Вестник

ландшафтной архитектуры: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции, посвященной 10-летию кафедры ландшафтной архитектуры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. М.: «Сам Полиграфист», 2014. С.7-8.

13. Тишин А.С., Тишина Ю.Р. Методы и способы фитотестирования почв: обзор // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №11-2 (113). С. 93-98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052

14. Ran X, Wang X, Gao X, Liang H, Liu B, Huang X. Effects of salt stress on the photosynthetic physiology and mineral ion absorption and distribution in white willow (*Salix alba* L.). PLoS ONE. 2021. 16(11): e0260086. DOI: 10.1371/journal.pone.0260086

15. Wang Qz, Liu Q, Gao Yn и др. Обзор механизмов реакции растений на засоленно-щелочной стресс. Acta Ecologica Sinica. 2017. 37 (16): 5565–5577.

16. Zhai K, Ji Z, Jiang D, Zhao G, Zhong T. Sand Priming Promotes Seed Germination, Respiratory Metabolism and Antioxidant Capacity of *Pinus massoniana* Lamb. Agriculture. 2022. 12. 455. DOI:10.3390/agriculture12040455

DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.009.58-64

## Studies of *Salix* Species Reactions to Saline Solutions Exposure

Anastasia A. Vergunova ✉, e-mail: aelestel@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0200-4721

Ivan N. Babukhin, ORCID: 0000-0002-0778-8609

Olga B. Sokolskaya, Dr. Sci. (Agr.), e-mail: sokolskaya.olg@yandex.ru,

ORCID: 0000-0003-1723-1289

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov  
410012, street Soviet, 60, Saratov, Russia

**Annotation.** In saline soils conditions, the salt resistance of green plantings is important. Trees and shrubs species have different features of survival under salt exposure to them. Identification of the most salt-resistant of them is relevant and necessary. The novelty of the study: the possibility of *Salix* species growing in conditions of soil salinization has been revealed, which is of practical importance both for the territories of the Left Bank and some sections of the Right Bank of the Saratov region. The tests were carried out in the period 2020-2022. The article compares the results of seed germination, root outflow of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> and changes in the leaves of two willow species (*Salix matsudana* Koidz. and *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*) with salt exposure. A comparative analysis of the NaCl solutions of different concentrations effects was applied. *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis* showed a higher rate of seed germination and outflow of Na<sup>+</sup> from the roots of seedlings than *Salix matsudana* Koidz. with salt exposure to them. It was found that when processing 200 mM NaCl seeds of *S.ledebouriana* var. *pyramidalis* had a germination rate of 23%, while the seeds of *S. matsudana* Koidz. did not germinated. Nevertheless, under untreated control conditions, both species showed the same germination ( $\pm 75\%$ ). The results of the study showed that *S. ledebouriana* var. *pyramidalis*

has a higher salt tolerance than *S. matsudana* Koidz, and is the most promising species for landscaping and improving a comfortable environment on saline and alkaline soils of the Saratov region settlements.

**Keywords:** *Salix ledebouriana* var. *pyramidalis*, *Salix matsudana* Koidz., seeds, germination, seedlings, root outflow, germination energy, salt effect

**Funds.** This work was implemented on the topic of MIIP SI (the most important innovative project of state importance) by order of the Government of the Russian Federation No. 2515-r dated 02.09.2022 «Development of principles for building and ensuring the functioning of a system for monitoring desertification in arid, subarid and dry subhumid regions» in terms of preparing the structure and methodology for the development of a sub-regional national action program to combat desertification (NAPCD) of the Saratov region on the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov” basis.

**Citation.** Vergunova A.A., Babukhin I.N., Sokolskaya O.B. Studies of *Salix* Species Reactions to Saline Solutions Exposure. *Scientific Agronomy Journal*. 2023. 1(120). pp. 58-64. DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.009.58-64

Received: 13.12.2022

Accepted: 15.03.2023

Reference:

1. Ablyazov D.G., Efremova K.N., Sokolskaya O.B., Salnikov A.L. *Tekhnologiya posadki dekorativnykh rastenij na zasolennykh pochvakh Zavolzh'ya* [Ornamental plants planting technology on saline soils of the Volga region]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agrarian Scientific Journal]. 2017. No. 5. pp. 3-7.
2. Badran A., Savin I.Yu. *Morfologicheskij otklik gor'kogo mindalya (Prunus Amygdalus) na azotnoe nano-udobrenie na rannikh stadiyakh razvitiya* [Morphological response of bitter almonds (*Prunus Amygdalus*) to nitrogen nano-fertilizer in the early stages of development]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia]. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2017. T. 12. No. 4. pp 312-322. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322
3. Bulanyi Yu.I., Chebotareva O.V. *Ocherk istorii izucheniya galofil'noi flory Saratovskoi oblasti* [An essay on the halophilic flora of the Saratov region studying history]. *Ekologiya i geografiya rastenij i soobshchestv Srednego Povolzh'ya* [Ecology and geography of plants and communities in the Middle Volga region]. Toliatti. "Kassandra" Publ. house. 2011. pp. 64-71.
4. Voronina L.P., Ponogaibo K.E. *Podkhod k vyboru metodov fitotestirovaniya dlya issledovaniya pochv* [An approach to the choice of phytotesting methods for soil research]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2021. No. 9. pp 75-79. DOI: 10.31857/S000218812109012X
5. Gorshkova T.A., Makarenko E.S., Kazakova E.A., Amosova N.V., Pavlova N.N., Martirosyan Yu.M. *Analiz metodov fitoindikatsii i fitotestirovaniya antropogennogo narusheniya sredi na primere model'nykh rastitel'nykh soobshchestv* [Analysis of methods of phytoindication and phytotesting of anthropogenic environmental disturbance by the example of model plant communities]. *Nauchnye ведомosti* [Scientific records]. Series: natural Sciences. 2013. No. 3 (146). Issue 22. pp.8-13.
6. Ivanishchev V.V., Evgrashkina T.N., Boikova O.I., Zhukov N.N. *Zasolenie pochvy i ego vliyanie na rasteniya* [Soil salinization and its effect on plants]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Proceedings of Tula State University. Earth Sciences]. 2020. No. 3. pp 28-42. EDN BSJTXM
7. Kulakova N.Yu., Shabanova N.P. *Zasolenie pochv – odna iz problem gorodskogo ozeleneniya* [Soil salinization as one of the urban gardening problems]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. 2019. pp 127-13.
8. Litvinskii V.A., Grishina E.A., Nosikov V.V., Sushkova L.O. *Atomno-emissionnaya spektrometriya i mikrovolnovaya mineralizatsiya kak kompleksnyi instrumental'nyi podkhod dlya opredeleniya sodержaniya svintsya v rasteniyakh i produktcii rastenievodstva* [Atomic emission spectrometry and microwave mineralization as a comprehensive instrumental approach for determining the lead content in plants and crop production]. *Plodorodie* [Fertility]. 2018. 6(105). pp 58-62. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.19
9. Lysenko T.M. *Rastitel'nost' zasolennykh pochv Povolzh'ya v predelakh lesostepnoi i stepnoi zon* [Volga region saline soils vegetation within the forest-steppe and steppe zones]. Moscow. Association of Scientific Publications KMK. 2016. 329 p.
10. Novikova L.A., Vasyukov V.M., Gorbushina T.V., Pchelintseva T.I. *Galofitnaya rastitel'nost' Maloserdobinskogo rajona Penzenskoj oblasti* [Halophytic vegetation of the Maloserdobinsky district of the Penza region]. *Samarskij nauchnyi vestnik* [Samara Scientific Bulletin]. 2021. T. 10. No. 3. pp 77-86. DOI 10.17816/snv2021103111
11. Savich V.I., Sorokin A.E., Mokhammad Sh., Akhmad R., Nafetdinov Sh.Sh. *Optimizatsiya razvitiya rastenii pri zasolenii pochv* [Optimization of plant development during soil salinization]. *Vestnik Khorezmskoi akademii Mamuna* [Bulletin of the Khorezm Academy of Mamun]. 2020. No. 8. pp. 50-53.
11. Savich V.I., Sorokin A.E., Mokhammad Sh., Akhmad R., Nafetdinov Sh.Sh. *Optimizatsiya razvitiya rastenii pri zasolenii pochv* [Optimization of plant development during soil salinization]. *Vestnik Khorezmskoi akademii Mamuna* [Bulletin of the Khorezm Academy of Mamun]. 2020. No. 8. pp. 50-53.
12. Sokolskaya O.B., Ablyazov D.G. *Osobennosti ozeleneniya na zasolennykh pochvakh Povolzh'ya* [Features of landscaping on the Volga region saline soils]. *Vestnik landshaftnoj arkhitektury* [Bulletin of landscape architecture]: materials of the All-Russian scientific and practical Internet conference dedicated to the 10th anniversary of the Department of Landscape Architecture of the Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev/ Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. "Sam Poligrafist" Publ. house, 2014. pp. 7-8.
13. Tishin A.S., Tishina Yu.R. *Metody i sposoby fitotestirovaniya pochv: obzor* [Methods and techniques of soils phytotesting: review]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Scientific Research Journal]. 2021. 11(113). URL: <https://research-journal.org/archive/11-113-2021-november/metody-i-sposoby-fitotestirovaniya-pochv-obzor> (access date: 03.12.2022). DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052
14. Ran X., Wang X., Gao X., Liang H., Liu B., Huang X. Effects of salt stress on the photosynthetic physiology and mineral ion absorption and distribution in white willow (*Salix alba* L.). *PLoS ONE*. 2021. 16(11): e0260086. DOI: 10.1371/journal.pone.0260086
15. Wang Qz, Liu Q, Gao Yn et al. Review of plant reaction mechanisms to saline-alkaline stress]. *Acta Ecologica Sinica*. 2017. No. 37 (16). pp. 5565–5577.
16. Zhai K., Ji Z., Jiang D., Zhao G., Zhong T. Sand Priming Promotes Seed Germination, Respiratory Metabolism and Antioxidant Capacity of *Pinus massoniana* Lamb. *Agriculture* 2022. No. 12. 455. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040455>

**Авторский вклад.** Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Author's contribution.** Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.