

Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакации

София Владимировна Матвеева, м.н.с., ORCID 0000-0003-4290-2021;

Татьяна Сергеевна Бабакова, м.н.с., ORCID 0000-0002-5593-0286;

Маргарита Сергеевна Какоткина, инженер-исследователь, ORCID 0000-0002-4068-0552;

Наталья Петровна Фефелова, инженер-исследователь, ORCID 0000-0002-8219-6291;

Алёна Александровна Васильева, лаборант-исследователь, ORCID 0000-0002-4734-5300;

Валерий Геннадьевич Зайцев[✉], zaitsev@vfanc.ru, к.б.н., в.н.с., ORCID 0000-0001-9191-2862, зав. лаб. –

Лаборатория молекулярной селекции –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

Леса в масштабах планеты обеспечивают фундаментальную защиту почвенных и водных ресурсов, поэтому важно следить за их состоянием, на которое напрямую влияют различные биотические и абиотические факторы. Один из таких факторов – солевой стресс. Засоление почвы может влиять на деревья на всех стадиях роста и развития. На данный момент площадь земель, подверженных засолению не прекращает расти. Вследствие этого важно определить степень устойчивости породы, используемой для лесоразведения, на различных стадиях роста, в том числе на ранних этапах развития. Целью данной работы являлась оценка влияния различных концентраций NaCl на всхожесть, длину, содержание пигментов и пролина робинии лжеакации, которая является одним из лучших потенциальных пород для успешного лесоразведения, а также возможности использования экзогенных соединений (24-эпибрассинолид и салициловая кислота) для повышения резистентности к солевому стрессу. Анализ полученных данных показал, что концентрации соли до 100 мМ включительно являются допустимыми для нормального развития проростков робинии лжеакации по всем исследуемым показателям, в том числе и всхожести. В группах, при поливе которых использовались растворы с концентрациями NaCl 200 мМ и выше, наблюдалось большое различие по сравнению с интактной группой по всхожести семян, но не по другим исследуемым показателям. При анализе групп с обработками фитогормонами было обнаружено, что протективного эффекта от предварительного замачивания семян в растворах эпина или салициловой кислоты нет.

Ключевые слова: абиотический стресс, засоление почвы, пигменты, пролин, резистентность к стрессу, робиния лжеакация.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ «Поиск селекционно-ценного генетического материала для создания новых генотипов древесно-кустарниковых пород методами молекулярной селекции» (регистрационный номер НИОКТР 122020100449-3).

Поступила в редакцию: 21.09.2022

Принята к печати: 06.12.2022

В наступившем тысячелетии человечество столкнулось с большим количеством экологических проблем, оказывающих существенное влияние на продуктивность земель и растительных сообществ. Одной из самых масштабных и опасных проблем стало засоление почвы, которое во многих случаях наблюдается в результате человеческой деятельности [13]. Засоление почвы приводит к потере пахотных земель и пагубно влияет на биоразнообразие территорий. Площадь земель, подверженных засолению, прогрессивно увеличивается с течением времени, так что проблема засоления может приобрести глобальные масштабы [8].

Решение проблемы может быть двоякое. Наиболее радикальный подход связан с восстановлением засоленных земель. Тем не менее это процесс длительный, поэтому другим важным аспектом является повышение эффективности использования территорий с засоленными почвами. Для этого необходимо выращивать наиболее приспособленные к солевому стрессу растения, причем

желательно такие, которые одновременно способны обеспечивать ремедиацию почвы. Поэтому количество исследований в этом направлении растёт, особое внимание уделяется хозяйственно значимым растениям [4;6].

В то же время исследований по резистентности к засолённости древесных растений, особенно на этапах прорастания, на данный момент проведено мало. Древесные растения на засоленных почвах могут быть использованы различным образом, в том числе для создания защитных лесных насаждений, однако очевидно, что для этого следует подбирать более солеустойчивые породы. Соответственно, исследование древесных растений на устойчивость к засолённости почвы на ранних этапах развития является одним из ключевых этапов отбора наиболее подходящих растений для выращивания на засоленных участках.

Солевой стресс может существенно влиять на состояние растений по причине воздействия практически на все обменные процессы. Однако раз-

личные виды могут сильно отличаться по уровню солей, при которых они еще развиваются нормальным образом: например, эрва яванская (*Aerva javanica*) является высокочувствительным даже к минимальным количествам солей, а лебеда раскидистая (*Atriplex patula*) может выдерживать засоленность почвы вплоть до концентрации солей 720 мМ. В целом солевой стресс может препятствовать прорастанию семян, а затем росту и развитию проростков [12].

Механизм развития клеточного ответа на солевой стресс не имеет принципиальных отличий от других видов абиотического стресса. Известно, что универсальным маркером абиотического стресса является содержание пролина в растительных тканях. Концентрация пролина обычно возрастает на фоне стрессовых воздействий окружающей среды [9]. Кроме того, чувствительным к солевому стрессу звеном метаболизма является фотосинтез. Ранее было показано, что общее содержание и соотношение различных фотосинтетических пигментов может меняться под действием разнообразных стрессовых факторов [10], включая соли [3].

В регуляции стрессового ответа участвуют различные фитогормоны, включая 24-эпибрассинолид и салициловую кислоту. 24-эпибрассинолид является стероидным фитогормоном, получившим широкое применение благодаря стимуляции роста и генеративного развития растений, а также повышению их стрессоустойчивости [1]. Салициловая кислота в свою очередь участвует во многих физиологических процессах растительных организмов, в том числе прорастании семян, регуляции роста и ответных реакций в условиях биотического или абиотического стресса [7].

В нашей работе объектом исследования стала

робиния лжеакация – быстрорастущий древесный вид с сильной приспособляемостью к засушливым территориям, что является преимуществом в выборе данного вида для использования в защитном лесоразведении и возможности повышения резистентности растения к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Целью настоящего исследования была оценка эффекта различных концентраций NaCl на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакации и возможности повышения стрессоустойчивости проростков под действием фитогормонов 24-эпибрассинолида и салициловой кислоты.

Материалы и методы. Биологическим материалом служили семена робинии лжеакации *Robinia pseudoacacia* L., собранные в Нижнем Чире (Суриковинский район Волгоградской области России) осенью 2021 года.

Для оценки влияния засоления на всхожесть и ранние этапы развития робинии лжеакации семена проращивали при поливе растворами с различными концентрациями NaCl в диапазоне от 10 до 300 мМ. Группу интактных растений поливали дистиллированной водой.

Для оценки возможности повышения резистентности к стрессу такими фитогормонами, как 24-эпибрассинолид (12,5 мкг/л) и салициловая кислота (50 мкМ), производили обработку семян раствором 24-эпибрассинолида (конечная концентрация 12,5 мкг/л, препарат Эпин-экстра, Нэст М) и раствором салициловой кислоты (конечная концентрация 0,05 мМ) в группе интактных растений и в опытных группах с поливом растворами NaCl с концентрациями NaCl 100 и 250 мМ. Опытные группы с указанием обработки (таблица 1).

Таблица 1 – Группы семян с различными концентрациями NaCl

№ группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кон-ция NaCl, мМ	0			10	25	50	100			200	250			300
Р-р для замачивания семян	вода	эпин	СК	вода			вода	эпин	СК	вода	вода	эпин	СК	вода

Подготовка и посев семян. Семена были скарифицированы путем кратковременной обработки кипящей водой. Для оценки возможного протективного эффекта фитогормонов одна часть семян замачивалась в воде, вторая – растворе эпина (24-эпибрассинолида), третья – растворе салициловой кислоты (0,05 мМ) в течение 3 часов при температуре 20-25°C (см. таблицу № 1). После скарификации и замачивания семена высевали в кассеты размером 16×9 лунок, каждая из которых была заполнена 25 мл смеси равных частей перлита и вермикулита, по 2 семени в каждую лунку. Семена высевались в субстрат на глубину 10 мм. Всего в опыте было использовано 756 семян (54 семени на каждую группу из табл. 1).

Полив субстрата производили соответствующими

солевыми растворами NaCl по 5 мл на лунку при каждом поливе. Полив производился через один день дистиллированной водой, а обработка солевыми растворами раз в 5 дней в течение первых 15 дней выращивания. Начиная с 16-го дня эксперимента, после появления у проростков истинных листьев, для полива использовался солевой питательный раствор Хогланда (101 г/л 2М KNO₃; 236 г/л 1М Ca(NO₃)₂·4H₂O; 68 г/л 1М KH₂PO₄; 6 г/л 4 NaFeEDTA (10% Fe); 246,5 г/л 1М MgSO₄·7H₂O; 80 г/л 1М NH₄NO₃; 28,6 г/л H₃BO₃; 26,9 г/л MnSO₄; 2,2 г/л ZnSO₄·7H₂O; 0,51 г/л CuSO₄·5H₂O; 1,2 г/л Na₂MoO₄·2H₂O). Проростки выращивали в течение 45 дней от момента посева, после чего они использовались для анализов.

Определение всхожести. Подсчет всхожести се-

мян производился каждый день со дня посева в течение 10 дней. На 10-ый день определялась общая всхожесть (в соответствии с ГОСТ 13056.6-97) [2]. По ежедневным подсчетам всхожести строился точечный график, на котором отображалась динамика всхожести.

Определение длины проростков. Через 45 дней после посева проводили анализ длины и количественный анализ пигментов и пролина. Для этого сначала проростки аккуратно извлекали из субстрата, раскладывали на ровную пронумерованную поверхность, фотографировали для дальнейшего анализа общей длины каждого проростка с помощью программного обеспечения ImageJ.

Определение содержания пигментов. Для определения пигментов взвешивали образцы (масса до 0,025 г) и фиксировали точные результаты в таблицу, помещали в микроцентрифужные пробирки объемом 1,5 мл, добавляли к образцам 0,45 мл диметилсульфоксид (ДМСО) и инкубировали 15 мин при 65°C, после чего пробирки с образцами остужали до комнатной температуры и определяли оптическую плотность образцов на трех длинах волн одновременно: 480, 649 и 665 нм – и проводили расчет по формулам [11, 14]:

$$1. \text{ Total chlorophyll} = \frac{18,54 \times A_{649} + 6,87 \times A_{665}}{1250 \times m} \quad (1)$$

$$2. \text{ Chlorophyll A} = \frac{12,19 \times A_{665} - 3,45 \times A_{649}}{1250 \times m} \quad (2)$$

$$3. \text{ Chlorophyll B} = \frac{21,99 \times A_{649} - 5,32 \times A_{665}}{12m} \quad (3)$$

$$4. \text{ Carotenoids} = \frac{4,55 \times A_{480} + 1,58 \times A_{665} - 6,98 \times A_{649}}{1250 \times m} \quad (4)$$

Выделение пролина. Для извлечения пролина отбирали часть корня проростка массой 0,1 г и помещали в микроцентрифужные пробирки объемом 2 мл с 8 керамическими шариками диаметром 2 мм для гомогенизирования, добавляли 0,8 мл 100 мМ натрий-фосфатного буфера (pH 7,8), далее гомогенизировали на встряхивателе вибрационного типа (Multi-Vortex V-32, biosan) в течение 5 минут на максимальной мощности. Гомогенат затем переносили в чистые пробирки и центрифугировали 20 мин при 10000 об/мин и температуре 4°C. Надосадочную жидкость, содержащую пролин, отбирали и использовали для дальнейшего анализа.

Определение содержания пролина в корнях. Для количественного измерения пролина готовился рабочий реагент, состоящий из 10 мл 3% сульфосалициловой кислоты, 10 мл уксусной ледяной кислоты, 20 мл 2,5% раствора хромогена (нингидрин). Рабочий реагент в объеме 0,1 мл добавляли к 0,05 мл образцу, извлеченному из корней проростков, и хорошо перемешивали. Холостая проба содержала рабочий реагент с 0,05 мл 100 мМ фосфатного буфера (pH 7,8) вместо исследуемого образца. Образ-

цы, смешанные с реагентом, нагревали в термостате при 95°C в течение 15 мин, далее охлаждали при 0°C в течение 10 мин и центрифугировали при 10000 об/мин 20 мин при 4°C [5].

Образцы, содержащие пролин, приобретали красный цвет. Оптическая плотность определялась при длине волны 520 нм. Калибровочный график строился с использованием растворов пролина в диапазоне концентраций 0,04-0,70 мМ.

Статистический анализ данных. После статистической обработки выборочные данные были представлены в форме медианы с указанием границ 95% доверительного интервала (95%ДИ). Для определения статистически значимых различий между группами по исследуемым количественным показателям использовался тест Краскала-Уоллиса с последующим анализом (post-hoc) по Данну с коррекцией множественных сравнений по Сидуку с помощью программы Microsoft Excel с надстройкой Xrealstats.

Результаты и обсуждение. Солевой стресс вызывал снижение всхожести семян робинии лжеакамии только при относительно высоких концентрациях соли (рисунок 1). При любой из исследованных концентраций NaCl всхожесть была статистически значимо ниже, чем у семян, обработанных дистиллированной водой (таблица 2). В то же время в диапазоне концентраций 10-100 мМ NaCl не было обнаружено значимых отличий между какими-либо группами. С другой стороны, изменение концентрации NaCl в поливочном растворе с 100 до 200 мМ вызывало резкое (более чем в 2 раза) статистически значимое снижение всхожести. Однако увеличение концентрации соли до 250 или 300 мМ дальнейшего статистически значимого уменьшения величины всхожести не вызывало. Таким образом, полученные нами результаты позволяют предположить, что наиболее существенные изменения в способности семян робинии к прорастанию происходят при уровне засоленности между 100 и 200 мМ NaCl. Вероятно, при концентрации около 200 мМ NaCl происходит нарушение функциональной активности ответа на стресс и (или) истощение защитных систем, что и могло бы объяснить наблюдаемые нами эффекты.

Дополнительная обработка семян 24-эпибрасинолидом или салициловой кислотой при концентрации соли 0 и 250 мМ не приводила к улучшению всхожести в сравнении с семенами без обработки фитогормонами. При концентрации соли 100 мМ салициловая кислота даже дополнительно снизила всхожесть семян, хотя 24-эпибрасинолид не оказал какого-либо эффекта.

Интересно обратить внимание на динамику всхожести семян (рисунок 2). У семян робинии в группах с умеренными концентрациями NaCl (25 мМ, 50 мМ и 100 мМ) всхожесть к 10-му дню после посева была статистически неотличима от семян с поливом 10 мМ соли. В то же время всхожесть семян робинии в первые 5 дней после посева была тем ниже, чем выше была концентрация NaCl.

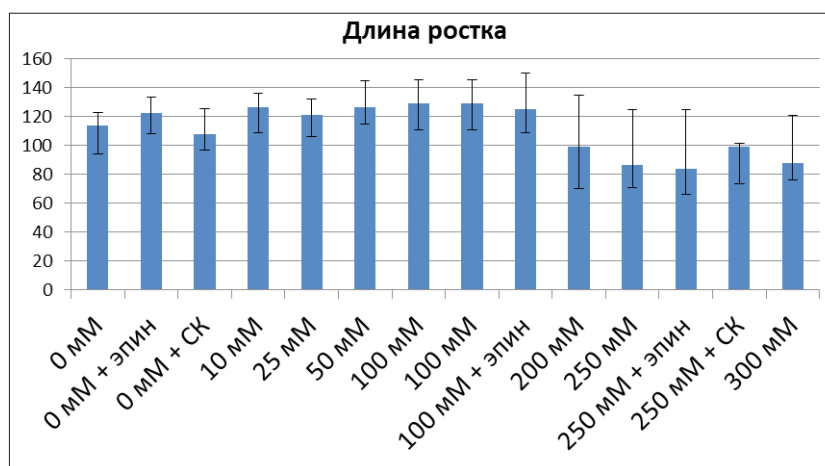


Рисунок 1. Количество взошедших семян робинии лжеакации (%) в условиях, моделирующих солевой стресс (различные концентрации NaCl)

Таблица 2 – Результаты статистического анализа всхожести семян робинии лжеакации при выбранном уровне значимости 0,05

Варианты	0 mM + эпин	0 mM + СК	10 mM	25 mM	50 mM	100 mM	100 mM + эпин	100 mM + СК	200 mM	250 mM	250 mM + эпин	250 mM + СК	300 mM
0 mM	0,69654	0,11184	0,00672	0,00194	0,00001	0,00052	0,00006	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
0 mM + эпин	1	0,22246	0,01732	0,00544	0,00298	0,00158	0,00022	0,00001	1E-05	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
0 mM + СК	0,22246	1	0,22246	0,09894	0,06432	0,04036	0,00854	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
10 mM	0,01732	0,22246	1	0,65994	0,5157	0,38978	0,1443	0,00158	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
25 mM	0,00544	0,09894	0,65994	1	0,83366	0,67448	0,30302	0,00614	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
50 mM	0,00298	0,06432	0,5157	0,83366	1	0,83366	0,41222	0,01108	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM	0,00158	0,04036	0,38978	0,67448	0,83366	1	0,54186	0,01928	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM + эпин	0,00022	0,00854	0,1443	0,30302	0,41222	0,54186	1	0,08186	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM + СК	0,00001	0,00001	0,00158	0,00614	0,01108	0,01928	0,08186	1	0,0083	0,00424	0,00016	0,00094	0,00038
200 mM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0083	1	0,81034	0,20766	0,4654	0,32218
250 mM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00424	0,81034	1	0,30302	0,61708	0,44726
250 mM + эпин	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00016	0,20766	0,30302	1	0,5892	0,77948
250 mM + СК	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00094	0,4654	0,61708	0,5892	1	0,79486

Примечания: Зеленым цветом отмечены пересечения групп со статистически значимыми отличиями между собой. Различия пропорций между группами оценивали с помощью z-теста

Мы полагаем, что слабый и умеренный солевой стресс вызывает, в первую очередь, не снижение всхожести семян, а задержку начала их прорастания. При более высоких концентрациях NaCl задержка в прорастании была заметна еще сильнее: семена этих групп начали всходить только на 6-й день после посева.

Размер проростков под действием солевого стресса изменяется значительно слабее, чем показатели всхожести (рисунок 3). Статистически значимые различия в длине проростков были вы-

явлены только между группами семян, подвергнутых воздействию растворов NaCl с концентрациями 100 mM и 250 mM ($p = 0,0008$).

Результаты анализа метаболических маркеров стресса показали неоднозначные эффекты солевого стресса. В частности, медианные значения содержания пролина в корнях проростков возрастали с увеличением концентрации NaCl до 100 mM в воде для полива, но с концентрации NaCl 200 mM наблюдалось снижение медианных величин содержания пролина (рисунок 4).

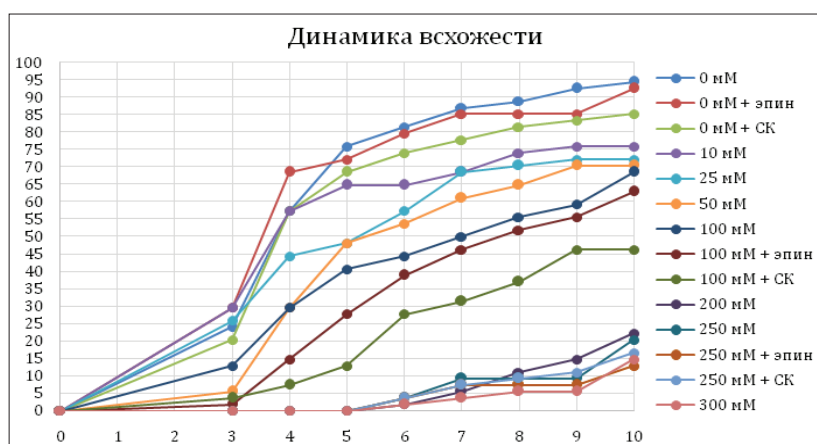


Рисунок 2. Динамика всхожести семян робинии лжеакации (%) в условиях, моделирующих солевой стресс (различные концентрации NaCl), в течение первых десяти дней после посева

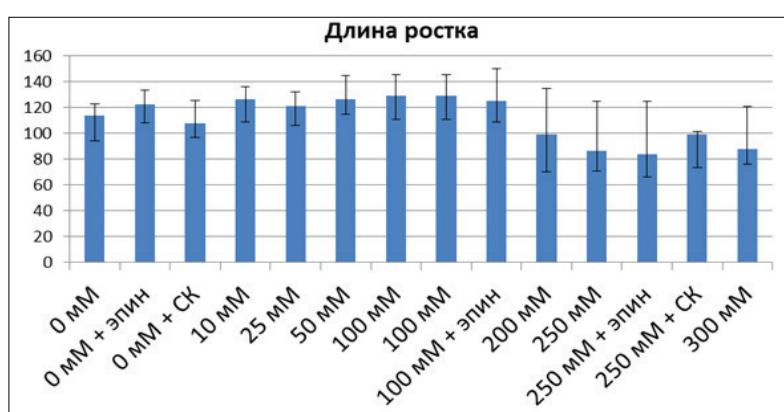


Рисунок 3. Длина проростков робинии лжеакации (мм), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

В то же время между большинством групп не удалось выявить статистически значимых отличий, что связано, по-видимому, с очень высокой вариабельностью данного показателя. Мы предполагаем, что при высоких концентрациях NaCl (200 мМ и выше) наблюдается истощение функциональной активности защитных систем, отвечающих на стресс, и угнетение физиологических процессов в проростках. Обработка семян фитогормонами 24-эпибрассинолидом и салициловой кислотой не влияла на содержание пролина в корнях проростков.

При анализе содержания пигментов нами не было выявлено каких-либо достоверных отличий между группами ни в общем содержании хлорофилла, ни в соотношении содержания форм хлорофилла (a и b). Единственное статистически значимое отличие было ассоциировано со способностью салициловой кислоты повышать содержание хлорофилла в группе интактных семян ($p = 0,0002$).

В отличие от хлорофиллов изменение содержания каротиноидов продемонстрировало наличие двухфазного эффекта. У семян, подвергнутых воздействию различных концентраций NaCl, наблюдалась тенденция к постепенному повышению содержания каротиноидов в диапазоне концентраций NaCl от 10 до 100 мМ и некоторое снижение содержания каротиноидов при поливе семян 200-

300 мМ NaCl (рисунок 5).

Такая динамика в определённой степени напоминала изменения содержания пролина в зависимости от выраженности солевого стресса, однако ответ на вопрос о причине сходства изменений в содержании пролина и каротиноидов требует проведения дополнительных исследований. Возможно, что именно при концентрациях NaCl 50-100 мМ наблюдается наибольшая активация защитных механизмов стрессового ответа, а при концентрациях NaCl 200 мМ и выше функциональная активность ответа на стресс становится непропорционально слабее интенсивности действия стрессового фактора (состояние дистресса).

Примечательно, что эффект фитогормонов на содержание каротиноидов зависел от выраженности солевого стресса. В контрольной группе (0 мМ NaCl) при обработке салициловой кислотой содержание каротиноидов было ниже, чем в семенах без обработки фитогормонами ($p = 0,0018$) или в семенах после обработки эпином ($p = 0,0019$). При солевом стрессе, вызванном 250 мМ NaCl, уменьшение содержания каротиноидов вызывала обработка семян эпином, но не салициловой кислотой. И, наконец, в группе с солевым стрессом, вызванным 100 мМ NaCl, ни эпин, ни салициловая кислота не вызывали статистически значимых эффектов на содержание каротиноидов.

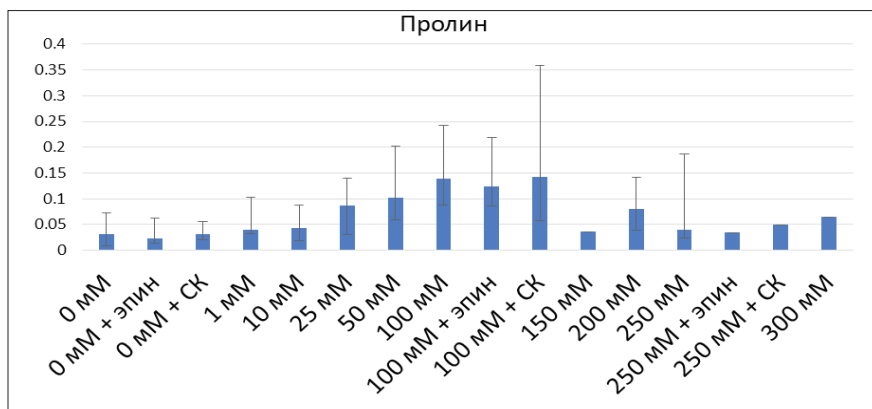


Рисунок 4. Содержание пролина в корнях проростков робинии лжеакации (мм), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

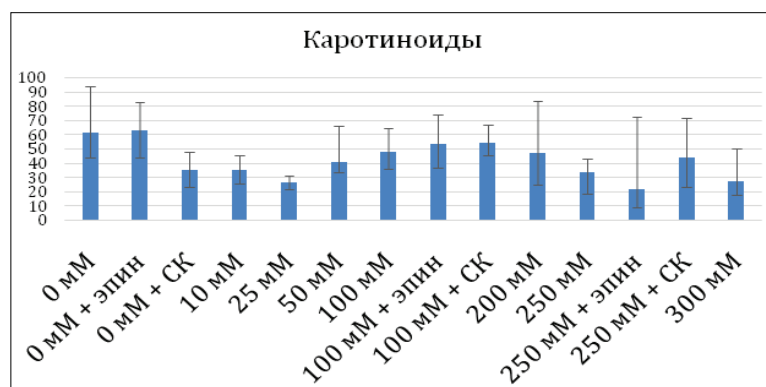


Рисунок 5. Содержание каротиноидов в проростках робинии лжеакации (мкг/мг), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

Заключение. Наше исследование показало, что наиболее радикальное изменение всхожести семян робинии лжеакации наблюдается при концентрации NaCl между 100 и 200 мМ. По результатам анализа биохимических изменений можно предположить, что примерно в этом же диапазоне концентраций соли может происходить развитие дистресса, то есть формирование дисбаланса между интенсивностью стрессового фактора и активностью ответа организма на стресс. Соответственно, можно говорить, что прорастание семян и раннее развитие проростков робинии лжеакации при обработке солью до концентрации 100 мМ не отличается существенно от интактных условий. Фитогормоны салициловая кислота и 24-эпибрассинолид не проявили заметного протективного эффекта против солевого стресса у проростков робинии лжеакации. В то же время во многих случаях мы наблюдаем большую вариабельность величин исследуемых показателей внутри выборок, которая объясняется, в первую очередь, генетическим разнообразием. Подход, основанный на индукции контролируемого солевого стресса, может быть использован для отбора растений, обладающих наилучшей устойчивостью в условиях засоления.

Литература:

1. Будыкина Н.П., Шибаева Т.Г., Титов А.Ф. Влияние эпина экстра синтетического аналога 24-эпибрассиноли-

да на стрессоустойчивость и продуктивность растений огурца (*Cucumis sativus* L.). Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2012. №2. С. 47-55.

2. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 31 с.

3. Betzen B.M., Smart C.M., Maricle K.L., MariCle B.R. Effects of Increasing Salinity on Photosynthesis and Plant Water Potential in Kansas Salt Marsh Species. Transactions of the Kansas Academy of Science. 2019. Vol. 122(1-2). P. 49-58. DOI:10.1660/062.122.0105

4. Boutrot F., Zipfel C. Function, discovery, and exploitation of plant pattern recognition receptors for broad-spectrum disease resistance. Annual review of phytopathology. 2017. Vol. 55. P. 257-286. DOI:10.1146/annurev-phyto-080614-120106

5. Chen T., Zhang B. Measurements of Proline and Malondialdehyde Contents and Antioxidant Enzyme Activities in Leaves of Drought Stressed Cotton. Bio-protocol LLC. 2016. Vol. 6. P. 1-14. DOI:10.21769/BioProtoc.1913

6. Hu J., Rampitsch C., Bykova N. Advances in plant proteomics toward improvement of crop productivity and stress resistance. Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. P. 230-241. DOI:10.3389/fpls.2015.00209

7. Janda T., Szalai G., Pal M. Salicylic Acid Signalling in Plants. Int. J. Mol. Sci. 2020. Vol. 21(7). DOI: 10.3390/ijms21072655

8. Joseph B., D. Jini. Proteomic analysis of salinity stress-responsive proteins in plants. Asian Journal of Plant Sciences. 2010. Vol. 9. P. 307. DOI:10.3923/ajps.2010.307.313

9. Koenigshofer H., Loeppert H.G. The up-regulation

of proline synthesis in the meristematic tissues of wheat seedlings upon short-term exposure to osmotic stress. *Journal of Plant Physiology*. 2019. Vol. 237. P. 21-29. DOI:10.1016/j.jplph.2019.03.010

10. Muhammad I., Shalmani A., Ali M., Yang Q.H., Ahmad H., Li F.B. Mechanisms Regulating the Dynamics of Photosynthesis Under Abiotic Stresses. *Front. Plant Sci*. 2021. Vol. 11. DOI:10.3389/fpls.2020.615942

11. Nayek S., Choudhury I.H., Haque, Nishika J., Roy S. Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*.

2014. Vol. 4(9). P. 63-69. DOI:10.1055/s-0033-1340072

12. Quan R., Lin H., Mendoza I., Zhang Y., Cao W., Yang Y., Shang M., Chen S., Pardo J.M., Guo Y. *Plant Cell*. 2007. Vol. 19(4). P. 1415-1431. DOI: 10.1105/tpc.106.042291

13. Singh A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*. 2021. Vol. 38(3). P. 1-29. DOI:10.1111/sum.12772

14. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. Vol. 144. P. 307-313. DOI:10.1016/S0176-1617(11)81192-2

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

Salt Stress Effects on *Robinia Pseudoacacia* Seed Germination and Early Development Stages of Seedlings

Sofia V. Matveeva, Junior Researcher, ORCID 0000-0003-4290-2021;

Tatiana S. Babakova, Junior Researcher, ORCID 0000-0002-5593-0286;

Margarita S. Kakotkina, Research Engineer, ORCID 0000-0002-4068-0552;

Natalia P. Fefelova, Research Engineer, ORCID 0000-0002-8219-6291;

Alyona A. Vasilieva, Research Laboratory Assistant, ORCID 0000-0002-4734-5300;

Valery G. Zaitsev[✉], K.B.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0001-9191-2862,

e-mail: zaitsev@vfanc.ru, Head of Molecular Breeding Laboratory –

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS),
e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. On a global scale, forests provide fundamental protection of soil and water resources, so it is important to monitor their condition, which is directly affected by various biotic and abiotic factors. One of these factors is salt stress. Soil salinization can affect trees at all stages of growth and development. At the moment, the area of subjected to salinization lands does not stop growing. Therefore, it is important to determine the degree of used for afforestation breed stability at various stages of growth, including the early stages of development. The aim of this work was to assess the effect of different NaCl concentrations on germination, length, pigment content and proline of robinia pseudoacacia, which is one of the best potential breeds for successful afforestation, as well as to assess the possibility of using exogenous compounds (24-epibrassinolide and salicylic acid) to increase resistance to salt stress. The obtained data analysis showed that salt concentrations up to 100 mM inclusive are acceptable for the normal development of robinia pseudoacacia seedlings in all studied indicators, including germination. In the groups where solutions with NaCl concentrations of 200 mM and higher were

used for irrigation, a large difference was observed in comparison with the intact group in seed germination, but not in other studied indicators. When analyzing groups with phytohormone treatments, it was found that there was no protective effect from pre-soaking seeds in epin or salicylic acid solutions.

Keywords: abiotic stress, soil salinization, pigments, proline, resistance to stress, *Robinia Pseudoacacia*

Received: 21.09.2022

Accepted: 06.12.2022

Translation of Russian References:

1. Budykina N.P., Shibaeva T.G., Titov A.F. *Vliyanie epina ekstra sinteticheskogo analoga 24-epibrassinolida na stressoustojchivost' i produktivnost' rastenij ogurtsa (Cucumis sativus L.)* [Influence of an extra synthetic epin analogue of 24-epibrassinolide on stress resistance and productivity of cucumber plants (*Cucumis sativus L.*)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2012. 2. pp. 47-55.

2. GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. The method of germination determining. Minsk. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publishment, 1997. 31 p.

Цитирование. Матвеева С.В., Бабакова Т.С., Какоткина М.С., Фефелова Н.П., Васильева А.А., Зайцев В.Г. Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакация // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 101-107. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

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.

Citation. Matveeva S.V., Babakova T.S., Kakotkina M.S., Fefelova N.P., Vasilieva A.A., Zaitsev V.G. Salt Stress Effects on *Robinia Pseudoacacia* Seed Germination and Early Development Stages of Seedlings. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 101-107. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

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.