

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТНОГО ЗАСОЛЕНИЯ НА РОСТОВУЮ АКТИВНОСТЬ И ВОДНЫЙ ОБМЕН ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО СОРТА «ТРИБУН»

Т. Н. Евграшкина, В. В. Иванищев, О. И. Бойкова, Н. Н. Жуков

ФБГОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
Поступила в редакцию 23.03.2019 г.

Аннотация. В работе изучено влияние кратковременного солевого стресса, вызванного присутствием в питательной среде 120 мМ Na₂SO₄. Объектом исследования являлись 7-дневные проростки тритикале (*Triticosecale*) озимого сорта «Трибун, которые помещали на среду, содержащую сульфат натрия. Через 12, 24, 48, 72 и 96 ч экспозиции определяли длину побегов и корней, осмотический потенциал, содержание воды и пролина. Показано, что сульфатное засоление негативно сказывается на морфологических параметрах растений, вызывая угнетение ростовых процессов как в побегах, так и в корнях. Установлено, что осмотический потенциал в побегах повышался, и к началу четвертых суток эксперимента отмечали почти двукратное возрастание этого параметра. В то же время в корнях осмотический потенциал сохранялся примерно на одном уровне (-1.3 МПа). Содержание влаги в побегах за первые сутки эксперимента снизилось на 20%, в то время как в корнях только на 6%. При дальнейшей экспозиции содержание влаги повышалось, приближаясь к исходным значениям. В ходе исследования было отмечено изменение содержания пролина как в побегах, которое максимально увеличивалось почти в 4 раза от первоначальной величины, так и в корнях тритикале, изменения в которых достигали 6 раз. На основании полученных результатов сделаны выводы о том, что в ходе адаптации проростков к сульфатному засолению (1) осмотическое давление и содержание воды в меньшей степени менялось в корнях, чем в побегах, (2) накопление пролина в побегах оказалось существенным (но недостаточным) фактором для поддержания осмотического давления, которое возрастало практически вдвое, (3) для корневой системы накопление пролина не имело существенного значения, что может говорить о других (возможно, более сильных) механизмах поддержания осмотического давления в корнях тритикале в условиях сульфатного засоления.

Ключевые слова: проростки тритикале (*Triticosecale*), сульфатное засоление, морфологические показатели, осмотический потенциал, содержание воды, пролин.

Различные стрессовые факторы оказывают негативное влияние на продуктивность растений, в том числе используемых в сельскохозяйственном производстве. К одним из таких факторов можно отнести сульфатное засоление. Этот фактор вызывает понижение водного потенциала почвенного раствора и тем самым инициирует развитие водного дефицита у растений. В отличие от засухи солевой стресс сопровождается не только осмотическим эффектом, но и токсическим воздействием избыточного содержания ионов на клеточный метаболизм [1].

Устойчивость растений к солевому стрессу развивается за счет различных механизмов, которые протекают как в отдельных клетках, так и

в целом растении [1, 2]. Основная причина осмотического стресса – обезвоживание растения, которое возникает из-за превышения скорости транспирации над скоростью поглощения воды корневой системой. В этих условиях на клеточном уровне, как правило, отмечается возрастание осмотического потенциала, за счет чего восстанавливается водный баланс в клетке. К примеру, в работах отдельных авторов было показано повышение осмотического потенциала в листьях *Olea europaea*, а также *Triticosecale* при сульфатном и хлоридном засолении, соответственно [1, 3].

Одним из важных направлений физиологии устойчивости растений является изучение механизмов адаптации, в частности тех, что обеспечивают ионный гомеостаз в условиях засоления [4]. Интенсивное накопление неорганических ионов в вакуолях растения приводит к нарушению осмо-

тического баланса между вакуолью и цитоплазмой [5]. Восстановление этого баланса идет за счет накопления в цитоплазме нетоксичных осмолитов [6]. Одним из главных осмолитов является пролин. Различными авторами было показано накопление пролина при действии различных стрессовых факторов [7, 8].

Тритикале (*Triticosecale*) является одним из ценных пшенично-ржаных гибридов. Растущий интерес к этой культуре связан с ростом площадей экстремального земледелия, в частности засоленных и засушливых почв [3]. Исходя из вышеизложенного очевидна необходимость изучения ростовых особенностей и регуляции водного обмена у тритикале озимого в условиях солевого стресса, вызванного содержанием в питательной среде сульфат-ионов с целью поиска показателей, отражающих особенности физиолого-биохимических проявлений такого стресса, и, в конечном итоге, выработки подходов к повышению солеустойчивости злаковых растений.

Цель работы состояла в изучении особенностей морфологических характеристик и водного обмена проростков тритикале при сульфатном засолении.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования являлись проростки тритикале озимого (*Triticosecale*) сорта Трибун. Растения выращивали на питательной среде Кноппа, с добавлением микроэлементов по Хогланду. Растения выращивали при 12-часовом световом дне и влажности воздуха около 70%. Освещенность измерялась при помощи люксметра «ТКА-ЛЮКС» (Россия), и ее средний показатель составил 1900 лк. По достижению фазы кущения питательная среда заменялась на аналогичную с концентрацией сульфат ионов в 120 мМ. Пробы для анализа отбирали через 12, 24, 48, 72 и 96 часов экспозиции, как описано ранее [2].

Морфометрические показатели определяли по методике, описанной Клейн Р.М., Клейн Д.Т. [9]. Из каждой партии выбирали случайным образом по 15 растений, у которых измеряли длину побега и самого длинного корневого образования с точностью до 1 мм, и в дальнейшем рассчитывалось среднее значение ($n=45$).

Определение осмотического потенциала растительных тканей проводили рефрактометрическим методом по Н.А. Максиму и Н.С. Петинину с помощью рефрактометра с подсветкой марки ИРФ-454 Б2М (Россия) [11].

Содержание воды определяли гравиметрическим методом, описанным ранее [11]. Для этого навеску растительной ткани фиксировали при 105°C в течение 15 мин, после чего высушивали до постоянной массы при 80°C в сушильном шкафу.

Определение содержания свободного пролина проводили по методу Бейтса и др. [10]. Оптическую плотность толуольного раствора измеряли при 520 нм. Содержание аминокислоты определяли по калибровочной зависимости.

Статистическая обработка результатов. Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Общее число изученных растений $n=45$. Для статистической обработки данных использовали метод ANOVA и попарных сравнений (Duncan тест). В таблицах и на рисунках приведены величины средних \pm стандартное отклонение. Величины, которые достоверно отличались одна от другой, помечены различными буквами (Duncan, $P<0.05$). Результаты экспериментов также обрабатывали с использованием метода главных компонент и кластерного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морфологические параметры

В побегах тритикале в условиях сульфатного засоления отмечали депрессию роста в течение всего опыта (рис 1, а). При этом наибольшая разница между контрольными и опытными образцами наблюдалась через 12 ч от начала эксперимента, которая составила 34%. В корнях также было отмечено снижение ростовой активности в течение всего времени эксперимента (рис 1, б). Так, при экспозиции 12 ч опытные образцы оказались на 2% меньше контрольных, а к 96 ч эксперимента эта разница составила уже 10%.

Осмотический потенциал

В ходе проведенного эксперимента было выявлено почти двукратное увеличение осмотического потенциала в побегах растений тритикале озимого в присутствии в среде сульфат-ионов (табл. 1). К 72 ч экспозиции наблюдали максимальное значение потенциала, которое составило -2.1 МПа и сохранялось до конца опыта. В то же время в корнях изменений данного параметра практически не наблюдали. Наименьшее значение осмотического потенциала отмечали в двух точках: 12 и 48 ч экспозиции. Оно составило -1.4 МПа.

Содержание воды в проростках

Исследование содержания воды в побегах и корнях тритикале в условиях сульфатного засоления показало, что в побегах происходило сниже-

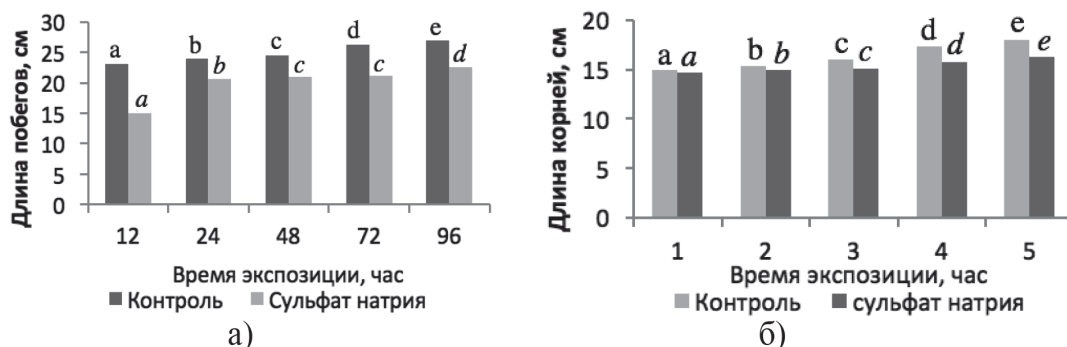


Рис. 1. Длина побегов (а) и корней (б) тритикале сорта «Трибун» в присутствии в среде 120 мМ Na₂SO₄ (буквами отмечена достоверность различий представленных величин, Duncan, P<0,050)

ние содержания влаги уже в первые сутки опыта (рис. 2). Минимальное содержание воды составило 61.4%. При дальнейшей экспозиции отмечали повышение этого параметра до значения 69.0%. В корнях наблюдали подобную картину: минимум содержания воды (72%) отмечали уже к концу первых суток, а в дальнейшем происходило повышение этого показателя (рис. 2).

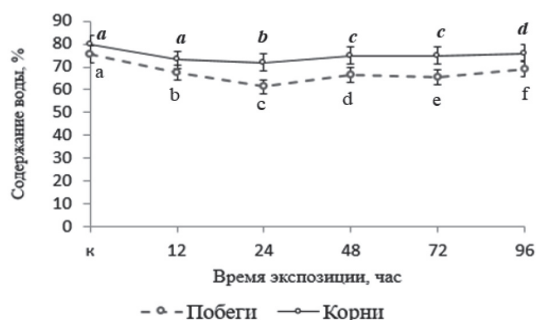


Рис 2. Содержание воды в побегах и корнях тритикале сорта «Трибун» в присутствии в среде 120 мМ Na₂SO₄ (буквами отмечена достоверность различий представленных величин, Duncan, P<0.050)

Содержание пролина

В ходе проведенного опыта было выявлено, что содержание одного из основных осмопротекторов – пролина менялось (рис. 3). В побегах происходило увеличение содержания пролина, начиная уже с 12

часов эксперимента. Оно достигало максимального значения при 96 ч экспозиции. В корнях же наблюдали практически неизменное содержания пролина в первые 12 ч эксперимента. В дальнейшем отмечали рост данного параметра до максимального значения (0.29 мг/г сырой массы) к 72 ч экспозиции, а к 96 ч содержание пролина снижалось до 0.18 мг/г сырой массы.

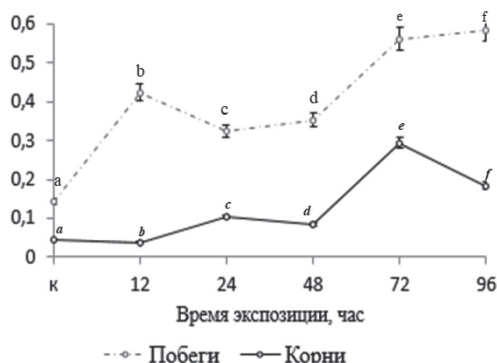


Рис. 3. Содержание пролина в побегах и корнях тритикале сорта «Трибун» в присутствии в среде 120 мМ Na₂SO₄ (буквами отмечена достоверность различий представленных величин, Duncan, P<0.050)

Применение статистических методов

Обработка результатов эксперимента методом главных компонент позволяет говорить о трех главных компонентах (54.7, 22.1 и 15.3%), поскольку они объясняют более 90% общей дисперсии результатов. При этом проекция данных позволила получить следующую картину (рис. 4).

Обнаружено, что наибольший вклад в дисперсию первой компоненты внесли: содержание пролина в корне (коэффициент -0.96), осмотический потенциал побега (-0.88), содержание пролина в побеге (-0.79), длина корня (-0.78), длина побега (-0.68) и противоположный по знаку – осмотический потенциал корня (0.71). Наибольший вклад в дисперсию второй главной компоненты внесли содержание воды в побегах (-0.92), содержание воды в корнях (-0.65) и длина корня (-0.60).

Таблица 1
Осмотический потенциал в побегах и корнях тритикале (*Triticosecale*) сорта Трибун при сульфатном засолении (в скобках отмечена достоверность различий представленных величин, Duncan, P<0,050)

Время экспозиции, час	Осмотический потенциал, МПа ± σ	
	Побеги	Корни
0	-1.2 (a)	-1.3 (a)
12	-1.6 (b)	-1.4 (a. b)
24	-1.5 (b)	-1.3 (a)
48	-1.7 (c)	-1.4 (a. b)
72	-2.1 (d)	-1.2 (a)
96	-2.1 (d)	-1.3 (a)

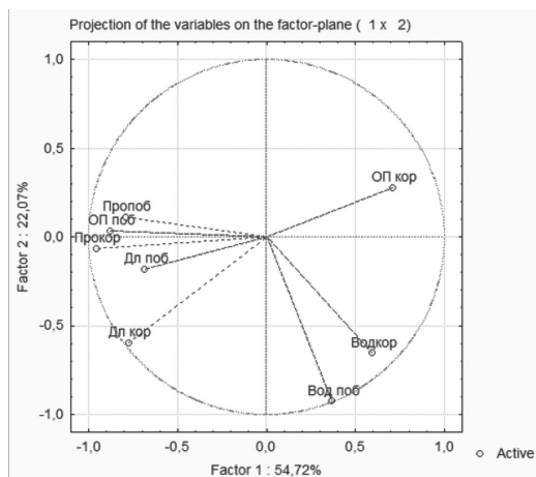


Рис. 4. Проекция данных на плоскость двух главных компонент (Дл кор – длина корня, Дл поб – длина побега, ОП поб – осмотический потенциал побега, ОП кор – осмотический потенциал корня, Водкор – содержание воды в корне, Вод поб – содержание воды в побеге, Пропоб – содержание пролина в побеге, Прокор – содержание пролина в корнях)

Применение метода кластерного анализа в попытке обнаружения иерархической соподчинённости изученных параметров позволило построить дендрограмму следующего вида (рис. 5).

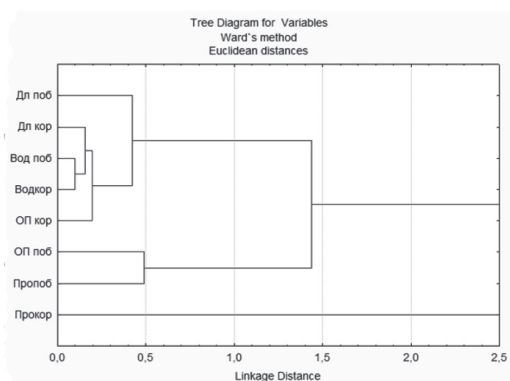


Рис. 5. Дендрограмма характеристик корня и побега тритикале в условиях адаптации проростков к сульфату натрия в среде (Дл кор – длина корня, Дл поб – длина побега, ОП поб – осмотический потенциал побега, ОП кор – осмотический потенциал корня, Водкор – содержание воды в корне, Вод поб – содержание воды в побеге, Пропоб – содержание пролина в побеге, Прокор – содержание пролина в корнях)

Представленные результаты можно интерпретировать следующим образом. Для состояния проростков тритикале в условиях эксперимента наиболее важными свойствами являются содержание воды в побегах и корнях. Далее почти та-

кое же значение имеют длина корня и его осмотический потенциал. Сбалансированность этих процессов обеспечивает развитие побега. С другой стороны, обнаруживается тесная взаимосвязь между осмотическим потенциалом побега и содержанием пролина в нём. При этом содержание пролина в корнях в наименьшей степени связано с состоянием проростков тритикале в условиях эксперимента.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Морфологические параметры, а также показатели роста напрямую зависят от типа засоления и возраста растений. При этом показано, что растения наиболее чувствительны к стрессовым факторам на ранних этапах онтогенеза [16]. Данные, полученные в ходе эксперимента, подтвердили снижение ростовой активности как побегов (рис 1, а), так и корней (рис 1, б) тритикале даже на протяжении 96 часов эксперимента. Торможение роста в этих условиях можно объяснить не только осмотическим (табл.), но и - далее, возможно, токсическим действием соли на клетки растения, поскольку появление ионов натрия в растениях тритикале в условиях засоления может происходить уже к 48 ч экспозиции [7]. При этом характеристики корневой системы играют более важную роль в поддержании жизнеспособного состояния проростков (рис. 4, 5).

Аналогичное снижение ростовой активности описано в работе Biea et al., в которой изучено влияние сульфат- и карбонат-ионов на растения *Lactuca sativa* L. [18]. Уменьшение ростовой активности корней в условиях избытка сульфат-ионов у растений *Triticum aestivum* L. было показано в работе [17]. При хлоридном засолении разные авторы отмечали угнетение роста растений *Brassica napus* [19] и *Triticum aestivum* [20].

В ходе эксперимента также обнаружено, что в побегах осмотический потенциал менялся сильнее, чем в корнях. Максимальное значение осмотического потенциала в побегах отмечали через трое суток. Предположительно это можно объяснить тем, что в проростках, возможно, постепенно накапливались ионы натрия, аналогично тому, что было показано при хлоридном засолении при экспозиции 48 часов и более [3, 7]. В то же время в корнях осмотический потенциал оставался практически на одном уровне в течение всего эксперимента. По-видимому, именно его стабильность обеспечивала поддержание необходимого содержания воды в побегах

и корнях (рис. 5). Возрастание содержания пролина в корнях после 48 часов эксперимента (рис. 3) можно связать с длительным воздействием соли-стрессора на растения тритикале. Но оно, по-видимому, не играло существенного значения для адаптации растений тритикале в условиях эксперимента (рис. 4, 5).

Полученные результаты сопоставимы с полученными ранее результатами для хлоридного, а также карбонатного типов засоления для растений: *Suaeda altissima* [12], *Triticosecale* [13], *Brassica napus* [5], а также галоксерофита *Artemisia lerchiana* [14].

Содержание влаги в побегах растений также менялось в течение всего эксперимента. Уже в первые сутки отмечали снижение содержания влаги в побегах на 20% (рис 2, а). В корнях снижение содержания влаги также происходило, но менее значительное – на 6% (рис 2, б). В дальнейшем в процессе адаптации растений за счет повышения осмотического потенциала влагосодержание как в клетках побегов, так и в корнях повышалось, достигая следующих значений: 69.2% - в побегах и 76.0% - в корнях. При этом показатели содержания воды в корнях и побеге были наиболее тесно связаны между собой (рис. 5).

В условиях засоления хлоридного типа в растениях тритикале содержание воды практически не изменялось и оставалось на уровне 79-80% [7], а при стрессе, вызванном избытком карбонат-ионов, как и в наших экспериментах, происходило снижение содержания влаги, но оно было более значительным: на 25% в побегах и на 10% - в корнях [13].

Исследование содержания пролина показало его значительные вариации (рис. 3). В побегах с течением времени происходило его накопление, и к концу эксперимента этот показатель более чем в два раза превышал исходное значение. В корнях же в течение 12 часов содержание пролина оставалось примерно на одном уровне, а в дальнейшем происходило возрастание этого показателя. Применение статистических методов показало, что содержание пролина в побегах, действительно, важно для поддержания их осмотического давления (рис. 4, 5). При этом содержание пролина в корневой системе играло наименее существенную роль для поддержания изученных характеристик проростков (рис. 4, 5). Поэтому можно сделать вывод о разной степени значимости пролина в обеспечении водного потенциала надземной и подземной частей растений тритикале в условиях кратковременной адаптации к сульфату натрия в среде.

Накопление пролина также было отмечено в листьях тутового дерева в условиях карбонатного засоления [15]. А в условиях NaCl-засоления обнаружено усиливающееся накопление пролина в побегах при незначительном снижении его содержания в корнях в течение эксперимента [1, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование кратковременного стресса, вызванного действием сульфата натрия на проростки тритикале озимого, позволяет прийти к следующим выводам.

1. Снижение ростовой активности побегов и корней в условиях сульфатного засоления определяется в большей степени за счёт поддержания (меньшего изменения) характеристик корневой системы проростков тритикале.

2. В процессе адаптации проростков тритикале к сульфатному засолению величина осмотического давления в корнях оставалась примерно на одном уровне, в то время как в побегах оно увеличилось почти вдвое к 96 часам эксперимента.

3. Снижение содержания воды в проростках и корнях тритикале в условиях сульфатного засоления было аналогично реакции проростков тритикале на присутствие в среде карбонат-ионов, но проявлялось в меньшей степени.

4. Накопление пролина в побегах оказалось существенным (но недостаточным) фактором для поддержания осмотического давления, которое возрастало практически вдвое. Для корневой системы накопление пролина не имело существенного значения, что может говорить о других (возможно, более сильных) механизмах поддержания осмотического давления в корнях тритикале в условиях сульфатного засоления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tattini, R. Gucci, M. A. Coradeschi, C. Ponzio and J. D. Everard. Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief Massimiliano // *Physiologia plantarum*. 1995. №95. С. 203-210.
2. Евграшкина Т.Н., Иванищев В.В., Бойкова О.И. и Жуков Н.Н., Проявления окислительного стресса в проростках тритикале в условиях сульфатного засоления // *Бутлеровские сообщения*. 2018. Vol.54. №.4. P. 128-133.
3. Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н., Иванищев В.В., Кособрюхов А.А. Регуляция водного обмена у тритикале озимого в условиях NaCl-засоления. // *Вісник Харківського національного аграрного*

университету. Серия биология. 2013. Вып. 1 (28). С. 34-43.

4. Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Кудоярова Г.Р. Сравнительное изучение реакции растений ячменя (*Hordeum vulgare*) и пшеницы (*Triticum durum*) на кратковременное и длительное действие натрий хлоридного засоления // *Агрохимия*. 2007. №7. С. 41-48.

5. Мохамед А.М., Ралдугина Г.Н., Холодова В.П., Кузнецов В.В. Аккумуляция осмолитов растениями различных генотипов рапса при хлоридном засолении // *Физиология растений*. 2006. Т. 53, № 5. С. 732-739.

6. Шарипова Г.А. Особенности роста и водного обмена растений пшеницы и ячменя с различной солеустойчивостью при натрий-хлоридном засолении: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2007. 22 с.

7. Жуков Н.Н. Исследование физиолого-биохимических механизмов солевого стресса у тритикале на ранних этапах онтогенеза. Автореф. дисс ... канд. биол. наук. Пушино, 2013, 22 с.

8. A. M. Peñalver, E. Graña, M. J. Reigosa, A. M. Sánchez Moreiras. Early photosynthetic response of *Arabidopsis thaliana* to temperature and salt stress conditions // *Физиология растений*. 2012. Т. 59, № 5. С. 677-685

9. Клейн, Р.М. Методы исследования растений / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн – М.: Колос, 1974. 527 с.

10. Орлова Ю.В., Мясоедов Н.А., Балнокин Ю.В. Роль ионов Na⁺, K⁺, Cl⁻ и сахаров в регуляции осмотического давления у растений рода *Artemisia* при хлоридном засолении среды // VI съезд ОФР, Международная конференция «Физиология растений 21 века: от молекул до экосистем». Сыктывкар, 2007, Т. 2, с. 307-308.

11. Юртаева Н.М. Малый практикум по физиологии растений: учеб. пособие для вузов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. 112 с.

12. Балнокин Ю.В., Куркова Е.Б., Мясоедов Н.А., Луньков Р.В., Шамсутдинов Н.З., Егорова Е.А., Бухов Н.Г. Структурно-функциональное состояние тилакоидов у галофита *Suaeda altissima* в норме и при нарушении водно-солевого режима

под действием экстремально высоких концентраций NaCl // *Физиология растений*. 2004. Т. 51, № 6. С. 905-912.

13. Евграшкина Т.Н., Иванищев В.В., Бойкова О.И. и Жуков Н.Н., Влияние карбонатного засоления на некоторые показатели водного обмена тритикале озимого сорта «Трибун» // *Бутлеровские сообщения*, 2018. Т. 54, № 7. С. 114-119.

14. S. Renault, C. Croser, J. A. Franklin. Effects of NaCl and Na₂SO₄ on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx) seedlings // *Plant and Soil* 2001. №233. С. 261-268.

15. P. Ahmad, M.Ozturk, S. Sharma & S. Gucl. Effect of sodium carbonate-induced salinity-alkalinity on some key osmoprotectants, protein profile, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in two mulberry (*Morus alba* L.) cultivars // *Journal of Plant Interactions*. 2015. Vol. 9 (1). P. 460-467.

16. P. P. Mirshad, S. Chandran, J. T. Puthur. Characteristics of bioenergy grasses important for enhanced NaCl tolerance potential // *Физиология растений*. 2014. Т. 61, № 5. С. 681-687.

17. Белозерова А.А., Боме Н.А. Изучение реакции яровой пшеницы на засоление по изменчивости морфометрических параметров проростков // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12. С. 300-306.

18. Z. Biea, T. Itob, Y. Shinoharaba. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce // *Scientia Horticulturae*. 2004. № 99. С. 215-224.

19. Хасан Д., Ковтун И.С., Ефимова М.В. Влияние хлоридного засоления на прорастание семян и рост проростков *Brassica napus* L. // *Вестник Томского государственного университета*. 2011. №4. С. 108-113.

20. Бондарева А.О., Молдакимова Н.А. Влияние солевого стресса на злаковые растения // *Международный научный форум «Биотехнология XXI века»*, Сб. науч. тр. – Астана, 2013, с. 363-364.

21. P. Warne, R.D. Guy, L. Rollins, and D.M. Reid. The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum* // *Can J. Bot.* 1998 №68: p. 999.

Тулский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*Евграшкина Т. Н., аспирант,

E-mail: tatyana9339@gmail.com

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University

*Evgrashkina T. N., post-graduate student

E-mail: tatyana9339@gmail.com

Евграшкина Т. Н., Иванищев В. В., Бойкова О. И., Жуков Н. Н.

Жуков Н. Н., кандидат биол. наук, доцент кафедры биологии и технологий живых систем
E-mail: z.nikolay87@mail.ru

Zhukov N. N., PhD., Associate Professor, Department of Biology and technologies of living systems
E-mail: z.nikolay87@mail.ru

Бойкова О. И., кандидат хим. наук, доцент кафедры химии
E-mail: benosi@mail.ru

Boikova O. I., PhD., Associate Professor, Department of Chemistry
E-mail: benosi@mail.ru

Иванищев В. В., д.б.н., профессор, зав. кафедрой биологии и технологий живых систем
E-mail: avdey_vv@mail.ru

Ivanishchev V. V., PhD., DSci., Full Professor, Head of the Department of Biology and technologies of living systems
E-mail: avdey_vv@mail.ru

THE INFLUENCE OF SULFATE SALINIZATION THE GROWTH ACTIVITY AND WATER CONTENT IN WINTER TRITICALE VARIETY "TRIBUNE"

T. N. Evgrashkina, V. V. Ivanishchev, O. I. Boikova, N. N. Zhukov

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University

Abstract. The effect of short-term salt stress caused by the presence of 120 mM Na₂SO₄ in the nutrient medium was studied in the paper. The object of the study was 7-day old triticale seedlings (Triticosecale) of the winter variety "Tribune", which were placed on medium containing sodium sulfate. After 12, 24, 48, 72 and 96 h of exposure, the length of shoots and roots, osmotic potential, water content and proline content were determined. It was shown that sulfate salinization adversely affects the morphological parameters of plants, causing inhibition of growth processes in both shoots and roots. It was established that the osmotic potential in the shoots increased, and by the beginning of the fourth day of the experiment, an almost twofold increase in this parameter was noted. At the same time, in the roots, the osmotic potential remained approximately at the same level (-1.3 MPa). The moisture content in the shoots for the first day of the experiment decreased by 20%, while in the roots only by 6%. With further exposure, the moisture content increased, approaching the initial values. During the study, a change in the content of proline was noted both in the shoots, which maximally increased almost 4 times the initial value, and in the roots of triticale, changes in which reached 6 times. Based on the obtained results, it was concluded that during the adaptation of seedlings to sulphate salinization (1) osmotic pressure and water content changed to a lesser extent in the roots than in the shoots, (2) the accumulation of proline in the shoots was a significant (but insufficient) factor to maintain osmotic pressure, which almost doubled, (3) for the root system, proline accumulation was not significant, which may indicate other (possibly stronger) mechanisms for maintaining osmotic pressure in triticale roots under conditions of sulphate salinization.

Keywords: triticale sprouts (Triticosecale), sulfate salinization, morphological indicators, osmotic potential, water content, proline.

REFERENCES

1. Tattini, R. Gucci, M. A. Coradeschi, C. Ponzio and. D. Everard. Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief Massimiliano, *Physiologia plantarum*, 1995, №95, pp. 203-210.

2. Evgrashkina T.N., Ivanishchev V.V., Bojkova O.I. i Zhukov N.N., *Proyavleniya okislitel'nogo stressa v prorstkah tritikale v usloviyah sulfatnogo zasoleniya*, *Butlerovskie soobshcheniya*. 2018, Vol.54, No. 4, pp. 128-133.

3. Garifzyanov A.R., Zhukov N.N., Ivanishchev V.V., Kosobryuhov A.A. *Regulyaciya vodnogo obmena u tritikale ozimogo v usloviyah NaCl-zasoleniya*, *Visnik Har'kivskogo nacional'nogo agrarnogo universitetu, Seriyablogiya*, 2013, V. 1 (28), pp. 34-43.

4. Veselov D.S., SHaripova G.V., Kudoyarova G.R. *Sravnitel'noe izuchenie reakcii rastenij yachmenya (Hordeum vulgare) i pshenicy (Triticum durum) na kratkovremennoe i dlitel'noe dejstvie natrij hloridnogo zasoleniya*, *Agrohimiya*, 2007, №7, pp. 41-48.

5. Mohamed A.M., Raldugina G.N., Holodova V.P., Kuznecov V.I. Akkumulyatsiya osmolitov rasteniyami razlichnyh genotipov rapsa pri hloridnom zasolenii, *Fiziologiya rastenij*, 2006, T. 53, № 5, pp. 732-739.
6. Sharipova G.A. Osobennosti rosta i vodnogo obmena rastenij pshenicy i yachmenya s razlichnoj soleustojchivost'yu pri natrij-hloridnom zasolenii: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ufa, 2007, 22 p.
7. Zhukov N.N. Issledovanie fiziologo-biohimicheskikh mekhanizmov solevogo stressa u tritikale na rannih etapah ontogeneza. Avtoref. diss ... kand. biol. nauk. Pushchino, 2013, 22 p.
8. A. M. Peñalver, E. Graña, M. J. Reigosa, A. M. SánchezMoreiras. Early photosynthetic response of *Arabidopsis thaliana* to temperature and salt stress conditions, *Fiziologiya rastenij*, 2012, T. 59, № 5, pp. 677–685
9. Klejn, R.M. Metody issledovaniya rastenij / R.M. Klejn, D.T. Klejn – M.: Kolos, 1974, 527 p.
10. Orlova YU.V., Myasoedov N.A., Balnokin YU.V. Rol' ionov Na⁺, K⁺, SI- i saharov v regulyatsii osmoticheskogo davleniya u rastenij roda *Artemisia* pri hloridnom zasolenii srede // VI s"ezd OFR, Mezhdunarodnaya konferenciya «Fiziologiya rastenij 21 veka: ot molekul do ehkositsem». Syktyvkar, 2007, T. 2, pp. 307-308.
11. Yrtaeva N.M. Malyj praktikum po fiziologii rastenij: ucheb. posobie dlya vuzov; Nizhegor. gos. arhitektur.-stroit. un-t – N. Novgorod: NNGASU, 2015, 112 p.
12. Balnokin YU.V., Kurkova E.B., Myasoedov N.A., Lun'kov R.V., SHamsutdinov N.Z., Egorova E.A., Buhov N.G. Strukturno-funkcional'noe sostoyanie tilakoidov u galofita *Sueda aaltissima* v norme i pri narushenii vodno-solevogo rezhima pod dejstviem ehkstremal'no vysokih koncentracij NaCl, *Fiziologiya rastenij*, 2004, T. 51, № 6, pp. 905-912.
13. Evgrashkina T.N., Ivanishchev V.V., Bojkova O.I. i Zhukov N.N., Vliyanie karbonatnogo zasoleniya na nekotorye pokazateli vodnogo obmena tritikale ozimogo sorta «Tribun», *Butlerovskie soobshcheniya*, 2018, T. 54, № 7, pp. 114-119.
14. S. Renault, C. Croser, J. A. Franklin. Effects of NaCl and Na₂SO₄ on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx) seedlings, *Plant and Soil*, 2001, №233, pp. 261–268.
15. P. Ahmad, M.Ozturk, S. Sharma & S. Gucel. Effect of sodium carbonate-induced salinity–alkalinity on some key osmoprotectants, protein profile, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in two mulberry (*Morus alba* L.) cultivars, *Journal of Plant Interactions*, 2015, pp. 460-467.
16. P. P. Mirshad, S. Chandran, J. T. Puthur. Characteristics of bioenergy grasses important for enhanced NaCl tolerance potential, *Fiziologiyarastenij*, 2014, T. 61, № 5, pp. 681–687.
17. Belozerova A.A., Bome N.A. Izuchenie reakcii yarovoj pshenicy na zasolenie po izmenchivosti morfometricheskikh parametrov prorostkov, *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, № 12, pp. 300-306.
18. Z. Biea, T. Itob, Y. Shinoharaba. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce, *Scientia Horticulturae*, 2004, №99, p.215–224.
19. Hasan D., Kovtun I.S., Efimova M.V. Vliyanie khloridnogo zasoleniya na prorastanie semyan i rost-prorostkov *Brassica napus* L., *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, №4, pp. 108–113.
20. Bondareva A.O., Moldakimova N.A. Vliyanie solevogo stressa na zlakovye rasteniya, *Mezhdunarodnyj nauchnyj forum «Biotekhnologiya XXI veka»*, Sb. nauch. tr. – Astana, 2013, pp. 363-364.
21. R. Warne, R.D. Guy, L. Rollins, and D.M. Reid. The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum*, *Can J. Bot*, 1998, №68, p 999.