

УДК 581.132

## РЕАКЦИЯ СОРТОВ ТВЕРДОЙ И МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ХЛОРИДНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

У.Ф. ИБРАГИМОВА, И.В. АЗИЗОВ, М.Г. МАМЕДОВА

*Институт ботаники Национальной академии наук Азербайджана  
Бадамдарское шоссе, 40 АЗ 1073 Баку, Азербайджан*

Изучено влияние солевого стресса (150 и 300 мМ NaCl) на некоторые физиологические показатели растений мягкой и твердой пшеницы (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L.) различных сортов. Определены массы сырого и сухого вещества стебля, накопление пролина, количества ионов  $K^+$  и  $Na^+$  в листьях. Установлено, что солевой стресс приводил к уменьшению масс сырого и сухого вещества побега, содержания ионов  $K^+$ , отношения  $K^+/Na^+$  у всех сортов, в то время как содержание ионов  $Na^+$  увеличивалось. Результаты опытов доказали, что сорта пшеницы Баракатли-95 и Азаматли-95 являются более солетолерантными по сравнению с другими изученными сортами.

*Ключевые слова:* *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L., пшеница, пролин, солеустойчивость.

По данным работы [2], хлоридное засоление является одним из основных факторов, лимитирующих продуктивность культурных растений. Общая площадь занятых под сельскохозяйственные культуры земель в мире, подвергнутых засолению, достигает 20 %, с постоянной тенденцией к увеличению. Ионное и осмотическое воздействия солей затрагивают самые разнообразные физиологические процессы растений, включая транспирацию, фотосинтез, и в конечном итоге снижают продуктивность культур [15, 17]. Результаты проведенных исследований [8] показали, что для растений, развивавшихся в условиях солевого стресса, характерны изменения в углеводном метаболизме, составе свободных аминокислот, накоплении полиаминов.

Пролин и другие аналогичные органические соединения выполняют функцию осморегуляции у гликофитов [11]. В экстремальных условиях уровень свободного пролина в клетках растений резко возрастает, в редких случаях он может быть основным критерием солеустойчивости генотипа, а чаще — является показателем адаптивности генотипов к стрессовому воздействию [1, 3, 6, 10, 12, 14, 20—22].

Для нормального функционирования растительных клеток в условиях солевого стресса важно сохранение внутриклеточного отношения  $K^+/Na^+$  на высоком уровне [24]. Растения, находящиеся под воздействием солевого фактора, путем регуляции  $K^+$ ,  $Na^+$ -транспортеров и  $H^+$ -помпы понижают концентрацию ионов  $Na^+$  в цитоплазме и повышают содержание ионов  $K^+$ . Селективность отношения  $K^+/Na^+$  для многих видов растений считается одним из основных физиологических механизмов адаптации к солевому стрессу. Устойчивость растений к солево-

му стрессу тесно связана с системой селективного поглощения ионов  $K^+$  и  $Na^+$ . У растений пшеницы способность адаптироваться к солевому стрессу определяется особенностями избирательной транспортировки ионов  $K^+$  и  $Na^+$  из корневой системы в надземную часть [9].

Целью настоящей работы было изучение влияния солевого стресса на некоторые физиологические параметры растений местных сортов твердой и мягкой пшеницы. Эти сорта изучены с точки зрения засухоустойчивости и морозостойкости, однако относительно солеустойчивости они исследованы недостаточно, что в значительной степени определяет актуальность выполненной работы.

### Методика

Исследовали сорта твердой (Гарагылчыг-2, Баракатли-95) и мягкой (Гийматли-2/17, Нурлу-99, Азаматли-95) пшеницы местной селекции.

Гарагылчыг-2 (*T. durum* L.) — сорт твердой пшеницы интенсивного типа. Разновидность — апиликум (*Apilicum*). Потенциальная урожайность 7,0—7,5 т/га. Баракатли-95 (*T. durum* L.) — сорт твердой пшеницы интенсивного типа. Разновидность — гордеиформе (*Hordeiforme*). Потенциальная урожайность 6,5—7,5 т/га. Устойчивость к засухе и морозу высокая. Гийматли-2/17 (*T. aestivum* L.) — сорт мягкой пшеницы интенсивного типа. Разновидность — велутинум (*Velutinum*). Потенциальная урожайность сорта 8,0—10,0 т/га. Устойчив к полеганию, ржавчине, морозостойкий. Засухоустойчивость слабая. Нурлу-99 (*T. aestivum* L.) — сорт озимой мягкой пшеницы интенсивного типа. Разновидность — грекум (*Graecum*). Потенциальная урожайность 8,0—8,5 т/га. Устойчив к полеганию, болезням, отличается высоким качеством и скороспелостью. Засухоустойчивость средняя. Азаматли-95 (*T. aestivum* L.) — сорт мягкой пшеницы интенсивного типа. Разновидность — грекум (*Graecum*). Потенциальная урожайность 7,5—8,5 т/га, устойчив к засухе.

Семена исходных форм были получены из Генетического банка Института земледелия МСХ Республики Азербайджан. Растения пшеницы культивировали в условиях фитотрона Института ботаники НАН Азербайджана при температуре 15—20 °С, относительной влажности 70—80 %, освещенности 10—12 тыс. лк. Семена высаживали в пластиковые сосуды ( $h = 13$  см,  $d = 14$  см), вмещающие 1 кг почвы.

После формирования 3-го листа растения подвергали воздействию NaCl концентрацией 150 и 300 мМ. Содержание пролина в листьях определяли спектрофотометрически [7] на спектрофотометре Hitachi, ионов  $K^+$  и  $Na^+$  — с помощью пламенного фотометра Jemway, PFP7.

### Результаты и обсуждение

Известно, что зерновые культуры, в том числе и пшеница, реагируют на солевой стресс в значительной степени уменьшением масс сухого и сырого вещества надземной части и корневой системы растений, причем сортовая вариабельность по этим показателям достаточно высокая [16, 19, 22].

Исходя из изложенного, оценка реакции растений на стрессовое воздействие хлоридного засоления важна для характеристики новых форм растений пшеницы, определения адаптивности отдельных генотипов как в селекционных целях, так и для районирования их на террито-

РЕАКЦИЯ СОРТОВ ТВЕРДОЙ И МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

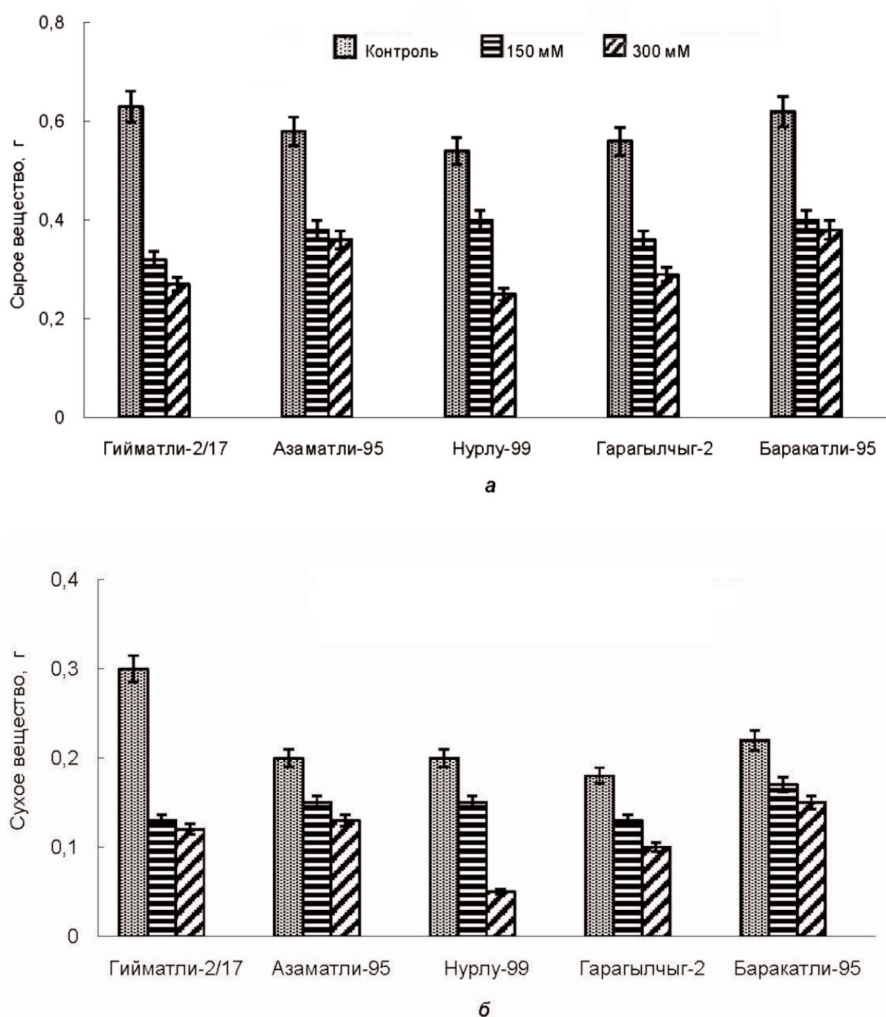


Рис. 1. Влияние разных концентраций NaCl на массы сырого (а) и сухого (б) вещества побега пшеницы

риях, подвергнутых первичному и вторичному засолению. Относительно изученных сортов мало данных по степени их адаптивности и резистентности к хлоридному засолению. Данные сорта выращиваются в Азербайджане на площади 150 тыс. га, 10 % из которых засолены в разной степени.

Результаты моделирования хлоридного засоления 150 и 300 мМ NaCl иллюстрирует рис. 1. Как видно из приведенных данных, солевое воздействие заметно снижает массы сырого и сухого вещества побега. При концентрации NaCl 150 мМ наибольшее снижение отмечено для сорта Гийматли-2/17, наименьшее — для сортов Баракатли-95 и Нурлу-99.

Возрастание солевого воздействия в еще большей степени уменьшает массу сырого вещества. Так, этот показатель у сорта Гийматли-2/17 снижался на 57 %, у сортов Азаматли-95 и Баракатли-95 — на 38, Гарагылчыг-2 — на 48, Нурлу-99 — на 54 %.

Солевое воздействие 150 мМ NaCl в большей степени снижало массу сухого вещества сорта Гийматли-2/17 (57 %), меньше — у сорта Баракатли-95 (22 %). При увеличении концентрации NaCl до 300 мМ

резко снижалась масса сухого вещества побега: сильнее у сорта Нурлу-99 (75 %), слабее — сорта Баракатли-95 (31 %).

Содержание свободного пролина рассматривали как один из индикаторов стрессорного воздействия соли концентрацией 150 и 300 мМ NaCl [2]. Как видно из рис. 2, содержание пролина варьировало в зависимости от силы солевого воздействия и особенностей исследуемых сортов.

В контрольных вариантах оно было достаточно низким (0,5—1,0 ммоль/г) и на протяжении экспериментального периода практически не изменялось. В опытных вариантах для сорта Гийматли-2/17 при обоих солевых воздействиях на 7-е сутки содержание пролина резко воз-

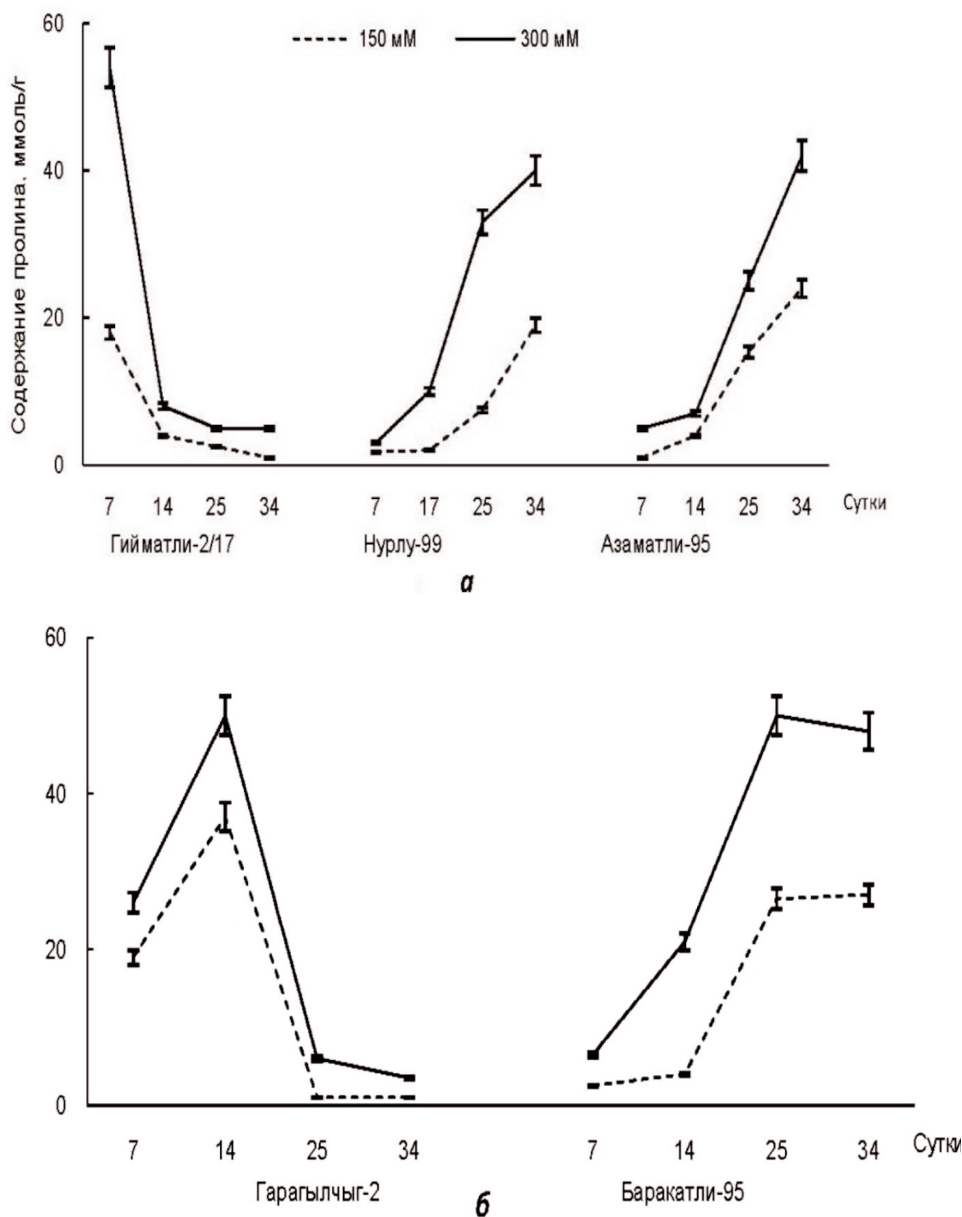


Рис. 2. Влияние разных концентраций NaCl на динамику содержания пролина в сыром веществе листьев мягких (а) и твердых (б) сортов пшеницы

растало. По истечении 8-х суток после стрессорного воздействия содержание пролина начинало снижаться вплоть до 34-х суток культивирования, когда у опытных и контрольных растений оно становилось практически одинаковым.

Реакция сортов мягкой пшеницы Азаматли-95 и Нурлу-99 на стресс отличалась от таковой у сорта Гийматли-2/17. Так, у сортов Азаматли-95 и Нурлу-99 при воздействии 150 мМ NaCl на 7-е сутки культивирования содержание пролина не изменялось, а на 25- и 34-е сутки возрастало и было сходным по динамике. Повышение концентрации NaCl до 300 мМ вызывало у этих генотипов резкое возрастание содержания пролина, которое достигало максимума на 34-е сутки культивирования растений. У сорта твердой пшеницы Баракатли-95 содержание пролина в листьях во всех вариантах стрессорного воздействия начинало увеличиваться после 7-х суток, достигало максимума на 25-е сутки и несколько снижалось на 34-е сутки. Повышение концентрации NaCl усиливало синтез свободного пролина. У сорта Гарагылчыг-2 динамика его содержания была подобна таковой у сорта Гийматли-2/17. В то же время, если у Гийматли-2/17 максимум содержания пролина наблюдался на 7-е сутки после стрессорного воздействия, то у Гарагылчыг-2 — на 14-е сутки. По прошествии 15 сут синтез пролина в листьях сорта Гарагылчыг-2 начинал снижаться и на 34-е сутки достигал минимальных значений.

В исследованиях, связанных с изучением действия солей, основное внимание уделяется транспортным системам, участвующим в осморегуляции [23]. Из литературных данных известно, что солеустойчивость и гомеостаз внутриклеточного  $\text{Na}^+$  регулируется ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и высокими концентрациями ионов  $\text{Na}^+$  [17]. В общей системе транспорта ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  конкурируют друг с другом.

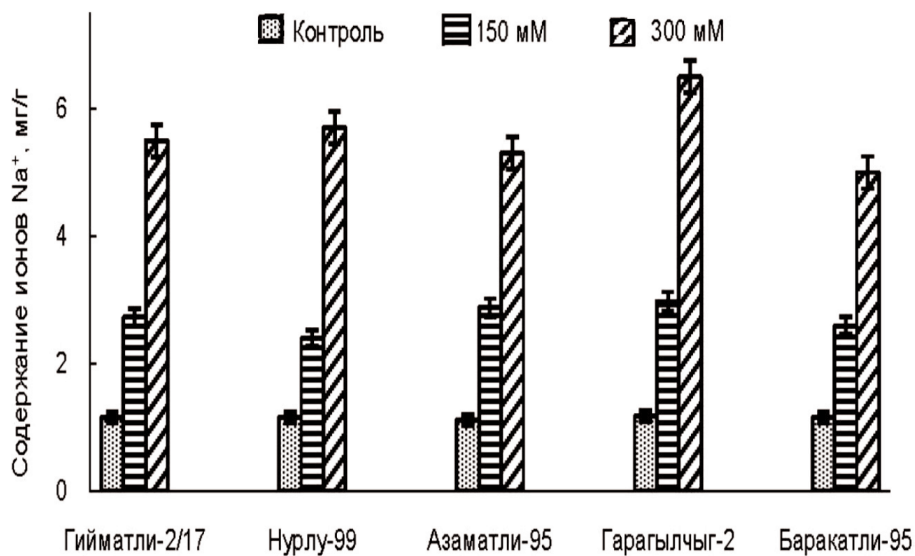
Показано, что солечувствительность у некоторых злаковых культур связана с неспособностью к компартментализации ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  [9], поэтому ионы  $\text{Na}^+$  и являются токсичным фактором. Их высокая концентрация в клетках растений приводит к нарушению течения различных метаболических процессов [5].

Растения, способные ограничивать поступление токсичных ионов или поддерживать их низкое содержание в цитоплазме клеток, как правило, обладают резистентностью к действию солей [5, 13].

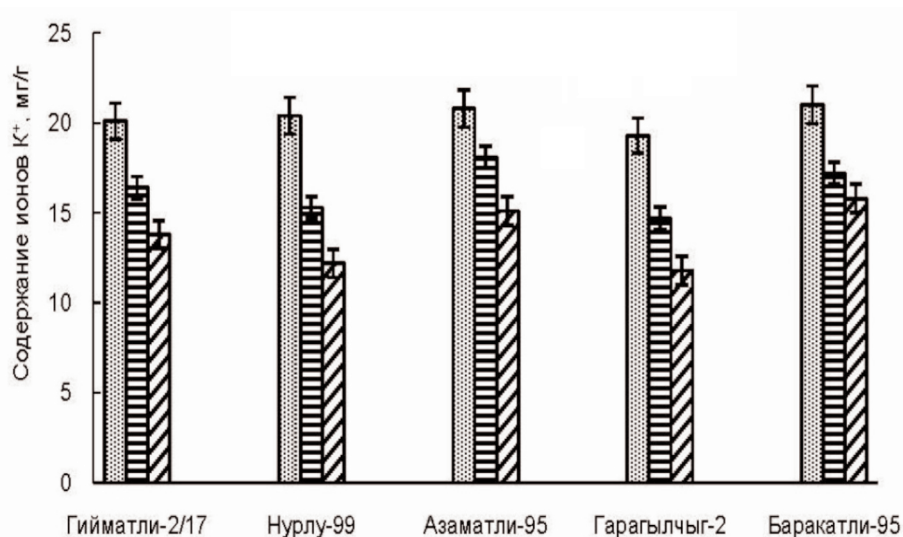
Как подтвердили результаты наших исследований, в листьях всех изученных сортов содержание ионов  $\text{Na}^+$  увеличивалось в зависимости от дозы воздействия стрессорного фактора (рис. 3, а). При концентрации NaCl 150 мМ наименьшее количество  $\text{Na}^+$  обнаружено у сорта Нурлу-99 (2,4 мг/г), самое высокое — у сорта Гарагылчыг-2 (2,98 мг/г). При концентрации NaCl 300 мМ у сорта Гарагылчыг-2 содержание натрия было выше по сравнению с другими сортами.

Поскольку ионы  $\text{K}^+$  конкурируют с ионами  $\text{Na}^+$  в процессе осморегуляции, они также участвуют в процессах поддержания солеустойчивости [6, 16].

Регуляция поглощения ионов  $\text{K}^+$ , ограничение поступления ионов  $\text{Na}^+$  в клетки и выделение  $\text{Na}^+$  наружу приводит к тому, что в цитоплазме клеток сохраняется оптимальное отношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . По мнению некоторых исследователей, отношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  в клетке является основным показателем, характеризующим солеустойчивость растений [18]. Согласно полученным нами результатам, у изученных сортов содержа-



а



б

Рис. 3. Влияние разных концентраций NaCl на содержание ионов натрия (а) и калия (б) в сыром веществе листьев пшеницы

ние ионов  $K^+$  в листьях уменьшалось в зависимости от силы воздействия солевого фактора (см. рис. 3, б).

При концентрации NaCl 150 мМ самое высокое количество ионов  $K^+$  накапливалось у сортов Азаматли-95 и Баракатли-95. У других сортов заметных различий по содержанию ионов  $K^+$  не обнаружено. У сорта Гийматли-2/17 оно равнялось 16,4 мг/г, у сорта Нурлу-99 — 15,3, у сорта Гарагылчыг-2 — 14,7 мг/г. Увеличение концентрации соли вызвало дальнейшее уменьшение содержания ионов  $K^+$ .

Так, самое высокое содержание  $K^+$  было у сорта Баракатли-95 — 15,8 мг/г, самое низкое — у сорта Гарагылчыг-2 — 11,8 мг/г.



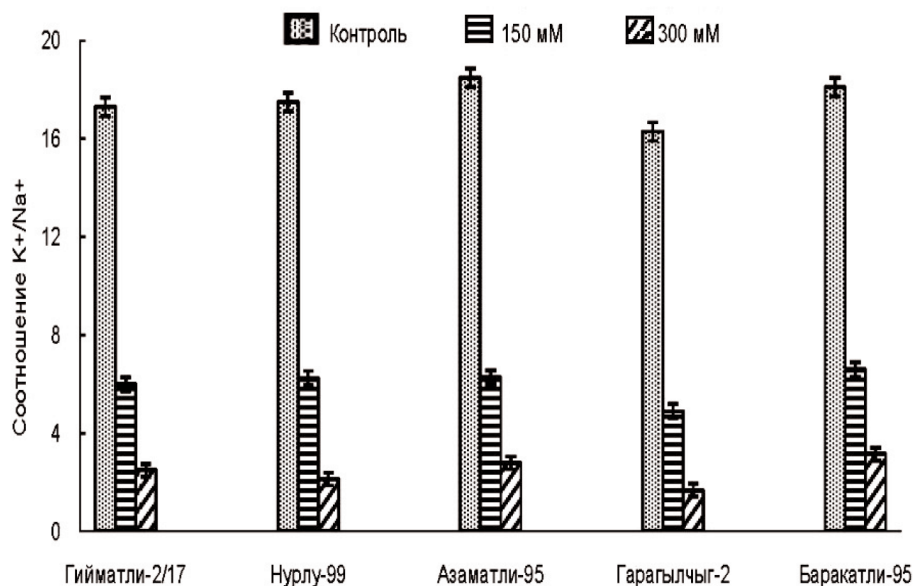


Рис. 4. Влияние разных концентраций NaCl на соотношение  $K^+/Na^+$  в листьях пшеницы

Самое высокое значение соотношения  $K^+/Na^+$  при воздействии 150 мМ NaCl отмечено у сорта Баракатли-95 — 6,6, самое низкое — у сорта Гарагылчыг-2 — 4,9 (рис. 4). При концентрации NaCl 300 мМ наиболее высокое значение отношения  $K^+/Na^+$  также было у сорта Баракатли-95 (3,16), самое низкое, так же, как и при концентрации 150 мМ NaCl — у сорта Гарагылчыг-2 (1,68). При увеличении концентрации стрессорного воздействия NaCl до 300 мМ характерным для всех генотипов являлось снижение отношения  $K^+/Na^+$ .

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что сорт твердой пшеницы Баракатли-95 по показателям масс сырого и сухого вещества стебля, содержанию ионов  $K^+$  в листьях, относительно высокому значению отношения ионов  $K^+/Na^+$  может быть отнесен к сортам, обладающим резистентностью к воздействию NaCl, из сортов мягкой пшеницы как резистентный к NaCl можно отметить Азаматли-95.

1. Казагезов Т.Г., Ибрагимова У.Ф., Мамедова М.Г. Стрессорная реакция листьев и корней различных генотипов пшеницы при внезапном и постепенном засолении // Изв. НАН Азербайджана. Биол. науки. — 2008. — 63, № 5–6. — С. 14–21.
2. Кафи М., Стюарт В.С., Борланд А.М. Содержание углеводов и пролина в листьях, корнях и апексах сортов пшеницы, устойчивых и чувствительных к засолению // Физиология растений. — 2003. — 50, № 2. — С. 174–182.
3. Савицкая Н.Н. О физиологической роли пролина в растениях // Научн. докл. высш. школы. — 1976. — № 2. — С. 49–61.
4. Akbari Ghogdi E., Izadi-Darbandi A., Borzouei A. Effects of salinity on some physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // Indian J. Sci. and Technol. — 2012. — 5, N 1. — P. 1901–1906.
5. Akram M., Malik M.A., Ashraf M.Y. et al. Competitive seedling growth and  $K^+/Na^+$  ratio in different maize (*Zea mays* L.) hybrides under salinity stress // Pakistan J. Bot. — 2007. — 39. — P. 2553–2563.
6. Ashraf M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants // Flora. — 2004. — 199. — P. 361–376.
7. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. — 1973. — 39. — P. 205–207.

8. *Bohnert H., Netson D.* Adaptations to environmental stress // *Plant Cell*. — 1995. — 7, N 7. — P. 1099—1111.
9. *Gorham L.* Salt tolerance in the triticae. Ion discrimination in rye and triticales // *J. Exp. Bot.* — 1990. — 41. — P. 609—614.
10. *Goudrazi M., Pakniyat H.* Evaluation of wheat cultivars under salinity stress based on some agronomic and physiological traits // *J. Agr. Soc. Sci.* — 2008. — 1. — P. 35—38.
11. *Greenway H., Munns R.* Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes // *Annu. Rev. Plant. Physiol.* — 1980. — 31. — P. 141—190.
12. *Haroun S.A.* Fenugreek growth and metabolism in response to gibberellic acid and sea water // *Assuit Univ. J. Bot.* — 2002. — 31. — P. 11—12.
13. *Khan M.A., Ashraf M.Y., Azmi A.R.* Effect of NaCl on growth and nitrogen metabolism of sorghum // *Acta Physiol. Plant.* — 1990. — 12. — P. 233—238.
14. *Khatkar D., Kuhad M.S.* Short-term salinity induced changes in two wheat cultivars at different growth stages // *Biol. Plant.* — 2000. — 43. — P. 629—632.
15. *Koca M., Bor M., Ozdemir F., Turkan I.* The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars // *Environ Exp. Bot.* — 2007. — 60. — P. 344—351.
16. *Marvi H., Heydari M., Armin M.* Physiological and biochemical responses of wheat cultivars under salinity stress // *ARPJ. J. Agricult. Biol. Sci.* — 2011. — 6. — P. 35—40.
17. *Munns R.* Comparative physiology of salt and water stress // *Plant Cell Environ.* — 2002. — 28, N 2. — P. 239—250.
18. *Sarvar G., Ashraf M.Y.* Genetic variability of some primitive bread wheat varieties to salt tolerance // *Pakistan J. Bot.* — 2003. — 35. — P. 771—777.
19. *Sen A., Alikmanoglu S.* Effect of salt stress on growth parameters and antioxidant enzymes of different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on in vitro tissue culture // *By PSP.* — 2011. — 20. — P. 489—495.
20. *Singh S.K., Sharma H.C., Goswami A.M. et al.* In vitro growth and leaf composition of grapevine cultivars as effected by sodium chloride // *Biol. Plant.* — 2000. — 43. — P. 283—286.
21. *Ueda A., Yamamoto-Yamane Y., Takabe T.* Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* — 2007. — 355. — P. 61—66.
22. *Wang W., Vinocur B., Altman A.* Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance // *Planta.* — 2003. — 218. — P. 1—14.
23. *Yasar F., Ellialtioglu S., Kusvuran S.* Ion and lipid peroxide content in sensitive and tolerant eggplant callus cultured under salt stress // *Eur. J. Hort. Sci.* — 2006. — 71, N 4. — P. 169—172.
24. *Zhu J.K.* Regulation of ion homeostasis under salt stress // *Curr. Opin. Plant Biol.* — 2003. — 6. — P. 441—445.

Получено 20.03.2013

## РЕАКЦІЯ СОРТІВ ТВЕРДОЇ І М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ НА ХЛОРИДНЕ ЗАСОЛЕННЯ

У.Ф. Ібрагімова, І.В. Азізов, М.Г. Мамедова

Інститут ботаніки Національної академії наук Азербайджану, Баку

Вивчено вплив сольового стресу (150 і 300 мМ) NaCl на деякі фізіологічні показники рослин м'якої і твердої пшениці (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L.) різних сортів. Визначено маси сирої і сухої речовини пагона, накопичення проліну, кількості іонів  $K^+$  і  $Na^+$  у листках. Установлено, що сольовий стрес призводив до зменшення мас сирої і сухої речовини стебла, вмісту іонів  $K^+$ , відношення  $K^+/Na^+$  у всіх сортів, у той час як вміст іонів  $Na^+$  збільшувався. Результати дослідів довели, що сорти пшениці Баракатлі-95 та Азаматлі-95 більш солетолерантні порівняно з іншими вивченими сортами.



RESPONSE OF BREAD AND DURUM WHEAT GENOTYPES TO THE SALT STRESS

*U.F. Ibrahimova, I.V. Azizov, M.H. Mamedova*

Institute of Botany National Academy of Sciences of Azerbaijan  
40 Badamdar Highway, Baku, AZ 1073, Azerbaijan

The effect of salt stress (150 and 300 mM NaCl) on some physiological parameters was studied in five wheat cultivars (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L.). Fresh and dry weight of shoot, accumulation of proline and amount of K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> in the leaves were determined. Fresh and dry weight of shoot, K<sup>+</sup> content and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio decreased in all varieties under salinity, however Na<sup>+</sup> content in all varieties increased. Results showed that varieties Barakatli-95 and Azamatli-95 are more salt-tolerant compared to the other cultivars.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L., wheat, proline, salt tolerance.