Гумусовые кислоты повышают устойчивость пшеницы к прогрессирующему засолению

Татьяна Александровна Кирдей

Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева, Иваново, Россия, t.a.kirdey@mail.ru

Аннотация. Засоление является одним из факторов снижения плодородия и деградации почв. Повреждающее действие засоления на растения можно снизить с помощью препаратов гумусовых кислот. Целью исследований было выявление особенностей влияния препарата гумусовых кислот торфа на устойчивость растений пшеницы к прогрессирующему засолению. Влияние препарата гумусовых кислот низинного торфа на устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к прогрессирующему хлоридному засолению изучали в вегетационных экспериментах. Растения выращивали в водной культуре на питательной смеси Хогланда. Прогрессирующее засоление создавали повышением концентрации NaCl с 25 до 100 мМ/л с шагом в 25 мМ через каждые 14 дней. Варианты постоянного засоления включали 75 и 100 мМ. На всех вариантах опыта растения выращивали с добавлением препарата гумусовых кислот торфа (0,005 %) или без него. Исследования показали, что защитное действие гумусовых кислот проявляется при более сильном стрессовом воздействии – в условиях постоянной концентрации NaCl 100 мМ. Установлено, что степень солеустойчивости растений в присутствии гумусовых кислот повышается в 1,5–2 раза. В условиях прогрессирующего засоления защитное влияние препарата гумусовых кислот наблюдалось на 14-й и на 28-й дни после начала засоления при 25 и 50 мМ NaCl соответственно. Выявлено, что гумусовые кислоты снизили накопление натрия в побегах пшеницы при прогрессирующем засолении до 100 мМ почти в 2 раза, на вариантах постоянного засоления – в 2,3–2,7 раз. Таким образом, препарат гумусовых кислот торфа проявляет протекторные свойства и может быть рекомендован для повышения солеустойчивости растений как при постоянном, так и при прогрессирующем засолении: для обработки семян пшеницы – 0,01%-й раствор, при орошении – 0,005%-й.

Ключевые слова: гумусовые кислоты; прогрессирующее засоление; солеустойчивость; хлорид натрия; пшеница.

Для цитирования: Кирдей Т. А. Гумусовые кислоты повышают устойчивость пшеницы к прогрессирующему засолению // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 23–26. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp23-26>.

AGRONOMY

Original article

Humic acids increase the resistance of wheat to progressive salinity

Tatiana A. Kirdey

Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaev, Ivanovo, Russia, t.a.kirdey@mail.ru

Abstract. Salinity is one of the chief factors of soil fertility decreasing and soil degradation. The influence of lowland peat humus acids preparation on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) resistance to progressing chlorine salinity was investigated. The plants were grown in aquatic culture on Hogland nutrient mixture. The progressing salinity was created with the help of NaCl concentration from 25 to 100 mM by 25 Mm step every 14 days. Variants of permanent salinity included 75 and 100 mM. In all the variants of the experiment the plants were grown with addition of peat humus acids preparation (0,005%) or without it. In the result of the experiment it was stated that humic acids protective action is more manifested under strong stress influence, NaCl permanent concentration being 100 Mm, herewith the degree of plants salinity resistance in presence of humic acids increases 1,5-2 times. Under progressing salinity humic acids preparation protective action is observed only on the 14-th (25Mm) and 28-th (50 Mm) days after salinity beginning. Peat humic acids preparation was found to decrease Sodium accumulation in wheat shoots almost twice under progressing salinity up to 100Mm and 2,3-2,7 times in the variants of permanent salinity.

Keywords: humic acids; progressing salinity; salt tolerance; Sodium chloride; wheat.

For citation: Kirdey T. A. Humic acids increase the resistance of wheat to progressive salinity. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(12): 23–26 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp23-26>.

Введение. Одним из факторов снижения плодородия и деградации почв является засоление. Засоленные почвы составляют более 20 % обрабатываемых земель во всем мире, причем их площадь постоянно возрастает за счет антропогенных факторов. Вторичное засоление развивается не только при орошении, но и при техногенном загрязнении, вызванном нефтедобычей, производством минеральных удобрений, применением противогололедных смесей [2, 6].

Засоление почв приводит к снижению продуктивности агроценозов – урожайность сельскохозяйственных культур снижается на 20–80 % [4, 5]. Причем основным повреждающим фактором для культурных растений является токсическое действие солей. Избыточное накопление растениями засоляющих ионов приводит к нарушению физиологических и биохимических процессов у растений [1, 12]. Культурные растения приспосабливаются к условиям засоления с помощью физиологических и биохимических механизмов [10]. Так, у более устойчивых видов и сортов засоляющие ионы накапливаются в корневой системе растений, что предотвращает избыточное их поступление в надземные органы [9].

Влияние прогрессирующего засоления на растения имеет как теоретическое значение с точки зрения изучения процессов адаптации растений, так и практическое значение при постоянном орошении высокоминерализованными водами, при растущем техногенном загрязнении, при повышении концентрации солей под влиянием погодных условий.

Рядом исследователей установлено, что устойчивость растений к высоким концентрациям солей повышают гуминовые препараты (из торфа, бурого угля и др.), представляющие собой водорастворимые соли гумусовых кислот (ГФК) [3].

В связи с вышеизложенным цель исследований – выявить особенности влияния препарата гумусовых кислот торфа на устойчивость растений пшеницы к прогрессирующему засолению.

Методика исследований. Влияние гумусовых кислот на растения пшеницы изучали в вегетационных экспериментах с использованием водной культуры. Объектом исследований была яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Приокская. Сорт среднеспелый, вегетационный период 81–89 дней, характеризуется высокой урожайностью при высоких технологических показателях, масса 1000 зерен 34–45 г.

Препарат гумусовых кислот (ГФК) получен из низинного торфа [7]. Семена проращивали на дистиллированной воде в чашках Петри, на фильтровальной бумаге при температуре 20–22 °С с добавлением препарата ГФК (0,01 %) или без него. Затем 7-дневные проростки переносили на литровые сосуды с 0,25 нормы раствора Хогланда [11]. По мере роста растений концентрацию питательного раствора увеличивали до 0,5 и 1 нормы. Опытные растения помещали на питательный раствор, содержащий 25 мМ/л NaCl – на вариантах прогрессирующего засоления, 75 и 100 мМ/л – на вариантах постоянного засоления. На всех вариантах опыта растения выращивали с добавлением ГФК (0,005 %) или без ГФК. Контролем служили растения, выращенные без NaCl и ГФК в среде. Прогрессирующее засоление создавали повышением концентрации NaCl с 25 до 100 мМ/л с шагом в 25 мМ/л через каждые 14 дней. Пробы растений отбирали через 14 дней после создания заданной концентрации соли: 25 мМ/л – через 14 дней, 50 мМ/л – через 28 дней, 75 мМ/л – через 42 дня, 100 мМ/л – через 56 дней от начала засоления. Растения убирали через 14 дней после создания концентрации NaCl 100 мМ/л, на 56-й день после начала эксперимента.

Растения выращивали при искусственном освещении при длине дня 16 ч. Смену питательного раствора осуществляли каждые 7 дней. Температуру поддерживали на уровне 20–22 °С, pH раствора – 5,3–5,6. Повторность в опытах 4-кратная, в наблюдениях – 3-кратная.

Реакцию растений на действие засоляющих ионов и ГФК оценивали по накоплению биомассы. Содержание натрия в растениях определяли на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu-6800.

Степень устойчивости растений к засолению выражали соотношением сухой массы побегов растений на опытных и контрольном вариантах [8]. Рассчитывали коэффициент протекторного действия ГФК: по накоплению массы растениями – определяли соотношение массы побегов, выращенных при использовании ГФК и без ГФК; по накоплению иона натрия – определяли соотношение содержания натрия в растениях, выращенных без ГФК и при использовании ГФК.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программы Excel с использованием дисперсионного анализа.

Результаты исследований. Степень угнетения растений и снижения биомассы зависела от концентрации соли и продолжительности засоления (табл.1). Степень солеустойчивости растений при 100 мМ NaCl снизилась практически в 2 раза уже через 14 дней, тогда как при 75 мМ – только через 28 дней от начала засоления (табл. 2). Через 42 дня после создания условий постоянного засоления степень солеустойчивости растений при 100 мМ NaCl была ниже, чем при 75 мМ более чем в 3 раза.

Таблица 1

Сухая масса побегов пшеницы, г/растение

Вариант	Продолжительность действия NaCl, дни			
	14	28	42	56
Контроль	0,37±0,02	0,85±0,10	1,99±0,29	4,84±0,31
2 ГФК	0,38±0,02	1,08±0,14	2,64±0,09	5,59±0,05
NaCl 75	0,38±0,01	0,48±0,03	1,31±0,31	–
NaCl 75+ГФК	0,42±0,02	0,57±0,03	1,39±0,24	–
NaCl 100	0,16±0,01	0,20±0,01	0,40±0,05	1,36±0,05
NaCl 100 + ГФК	0,19±0,02	0,31±0,02	0,83±0,10	1,60±0,05
NaCl 25→50→75→100	0,36±0,03	0,72±0,07	1,32±0,23	1,64±0,04
NaCl 25→50→75→100 + ГФК	0,39±0,03	0,93±0,07	1,34±0,39	1,75±0,05
HCP ₀₅	0,03	0,12	0,41	0,24

Примечание: указаны средние значения и стандартные отклонения; жирным шрифтом выделено статистически значимое влияние ГФК при $p < 0,05$.

Таблица 2

Степень солеустойчивости растений, %

Вариант	Продолжительность действия NaCl, дни			
	14	28	42	56
NaCl 75	102,70	56,47	65,83	–
NaCl 75 + ГФК	113,51	67,06	69,85	–
NaCl 100	51,35	23,53	20,10	28,10
NaCl 100 + ГФК	51,35	36,47	41,71	33,06
NaCl 25→50→75→100	97,30	84,71	66,33	33,88
NaCl 25→50→75→100 + ГФК	105,40	109,41	67,34	36,16

Повреждающее действие прогрессирующего засоления до 100 мМ NaCl по сравнению с постоянным было более слабым – масса побегов растений, выращенных при постепенном засолении, превысила массу побегов растений, выращенных при постоянном засолении в 1,2 раза (см. табл. 1). При 75 мМ NaCl различия постепенного и постоянного засоления отсутствовали, что может быть обусловлено как невысокой концентрацией соли, так и небольшой длительностью воздействия засоления.

Препарат ГФК повысил массу растений, как в условиях засоления, так и без него (см. табл. 1, табл. 3). Наиболее значимым было влияние препарата ГФК на устойчивость растений к условиям постоянного засоления 100 мМ NaCl – масса побегов растений, выращенных в присутствии ГФК, была выше в 1,5 и 2 раза через 28 и 42 дня от начала засоления соответственно в сравнении с вариантом без ГФК.

Таблица 3

Коэффициент протекторного действия ГФК (по массе побегов)

Вариант	Продолжительность действия NaCl, дни			
	14	28	42	56
NaCl 75	1,11	1,19	1,06	–
NaCl 100	1,19	1,55	2,08	1,18
NaCl 25→50→75→100	1,08	1,29	1,02	1,07

При прогрессирующем засолении влияние ГФК наблюдалось на 14-й и 28-й дни после начала засоления – масса растений была выше в присутствии препарата ГФК на 8, при 25 и 50 мМ/л NaCl – на 29 %. Таким образом, при более сильном стрессовом воздействии (резкое постоянное действие 100 мМ NaCl) защитная роль ГФК проявлялась сильнее, чем при постепенном засолении.

Очевидно, что повреждающее действие засоления обусловлено содержанием натрия в побегах растений (табл. 4). При резком постоянном действии NaCl содержание натрия в побегах увеличилось в 24 раза и в 26 раз по сравнению с контролем при 75 и 100 мМ. При постепенном засолении до 75 мМ содержание натрия было в 1,3 раза ниже, а при 100 мМ – выше в 1,5 раза, чем при постоянном. Таким образом, условия постепенного засоления до 75 мМ усиливают способность растений регулировать накопление натрия в побегах, а при дальнейшем повышении концентрации соли до 100 мМ содержание натрия, напротив, возрастает. При этом степень солеустойчивости растений снижается практически в 2 раза. Таким образом, более слабое повреждающее действие постепенного засоления наблюдается только при повышении концентрации соли до 75 мМ. При этом усиливается и регулирующая функция корневой системы растений пшеницы. Если при постоянном действии 75 мМ содержание натрия в корнях и побегах было примерно одинаковым, то при постепенном повышении концентрации соли – в 1,8 раза выше, чем в побегах.

Таблица 4

Содержание натрия в растениях пшеницы, г/кг сухой массы

Вариант	Побеги	Корни
Контроль	0,60±0,02	3,90±0,28
ГФК	0,60±0,05	4,85±0,17
NaCl 75	14,13±0,17	14,72±0,12
NaCl 75 + ГФК	5,20±0,14	16,19±0,37
NaCl→75	10,74±0,21	18,97±0,34
NaCl→75 + ГФК	12,45±0,35	3,65±0,96
NaCl 100	15,65±0,33	–
NaCl 100 + ГФК	6,79±0,34	–
NaCl→100	23,11±0,27	–
NaCl→100+ГФК	12,74±0,19	–
НСР ₀₅	0,74	0,86

Примечание: приведены средние значения и их стандартные отклонения; жирным шрифтом выделено статистически значимое снижение содержания натрия под влиянием ГФК при $p < 0,05$; жирным шрифтом и курсивом выделено статистически значимое увеличение содержания натрия под влиянием ГФК при $p < 0,05$.

Препарат ГФК снизил содержание натрия в побегах растений в условиях постоянных концентраций NaCl 75 и 100 мМ в 2,7 и 2,3 раза соответственно (табл. 5), что, однако, не проявилось на степени солеустойчивости растений. В условиях постепенного повышения концентрации соли до 75 мМ препарат ГФК снизил содержание натрия в корнях растений более чем в 5 раз, а при 100 мМ – в побегах растений в 1,8 раза. Степень солеустойчивости при этом изменялась незначительно, что может быть обусловлено недостаточной длительностью экспозиции при указанных концентрациях соли.

Таблица 5

Коэффициент протекторного действия ГФК (по содержанию натрия)

Вариант	Побеги	Корни
ГФК	1,01	0,80
NaCl 75	2,72	0,91
NaCl→75	0,86	5,20
NaCl 100	2,31	–
NaCl→100	1,81	–

Таким образом, препарат ГФК снижает накопление натрия в побегах растений пшеницы при постоянном и при прогрессирующем засолении до 100 мМ, проявляя защитное действие в условиях более сильного стрессового воздействия.

Заключение. Исследования устойчивости пшеницы сорта Приокская к условиям прогрессирующего засоления показали, что постепенное засоление оказывает более слабое повреждающее действие на растения по сравнению с постоянным. Степень солеустойчивости при прогрессирующем действии NaCl выше в 1,2 раза. При этом протекторное действие препарата гумусовых кислот проявляется при более сильном стрессовом воздействии – в условиях постоянного действия 100 мМ NaCl, в присутствии ГФК степень солеустойчивости растений повысилась в 1,5–2 раза.

В условиях прогрессирующего засоления защитное влияние препарата ГФК наблюдалось на 14-й и 28-й дни после начала засоления при 25 и 50 мМ NaCl соответственно. При этом ГФК снизили накопление натрия в побегах пшеницы при прогрессирующем засолении до 100 мМ почти в 2 раза, на вариантах постоянного засоления – в 2,3–2,7 раза.

Таким образом, препарат гумусовых кислот торфа проявляет протекторные свойства и может быть использован для повышения солеустойчивости растений, как при постоянном, так и при прогрессирующем засолении. На основании проведенных исследований можно рекомендовать обработку семян пшеницы 0,01%-м раствором препарата гумусовых кислот торфа, при орошении – 0,005%-м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балнокин Ю. В. Ионный гомеостаз и солеустойчивость растений. 70-е Тимирязевское чтение. М.: Наука, 2012. 102 с.
2. Гарипов Т. Т. Гумусное состояние почв Южного Предуралья при моделировании их техногенного засоления // Экобиотех. 2020. Т. 3. № 1. С. 13–17.
3. Кирдей Т. А. Защитное действие гумата на проростки пшеницы в присутствии тяжелых металлов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 2. С. 199–201.
4. Костылев П. И., Кудашкина Е. Б., Костылева Л. М. Изучение солеустойчивости риса в микроочках // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3 (81). С. 78–81.
5. Кривобочек В. Г., Стаценко А. П., Тразанова Е. А., Курьшев И. А. Свободный пролин – биохимический показатель солеустойчивости растений // Аграрный научный журнал. 2017. №1. С. 16–19.
6. Кусакина М. Г., Еремченко О. З., Четина О. А. Влияние техногенного засоления на некоторые биохимические показатели растений, произрастающих в зоне солеевалов // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2013. № 1. С. 18–22.
7. Способ получения жидких торфяных гуматов: пат. 2310633 Рос. Федерация: МПК C05F11/02, C10F7/00/ Калинин Ю. А., Вашурин И. Ю., Кирдей Т. А.; заявитель и патентообладатель ООО Научно-производственная фирма «Недра». № 2006120883/04; заявл. 15.06.2006; опубл. 20.11.2007, Бюл. № 32. 4 с.
8. Удовенко Г. В. Солеустойчивость культурных растений. Л.: Колос, 1977. 215 с.
9. Хабиева Н., Алиев З. М., Куркиев К. У. Влияние хлорида натрия на рост проростков и содержание пролина и натрия у сортообразцов озимого тритикале // Агрохимия. 2020. № 2. С. 84–91.
10. Acosta-Motos J. R., Ortuño M. F., Bernal-Vicente A., Diaz-Vivancos P., Sanchez-Blanco M. J., Hernandez J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms // *Agronomy*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 18.
11. Hoagland D. R., Arnon D. E. The water culture method for growing plants without soil // *Calif. Agric. Expt. Stn.* 1950. P. 1–39.
12. Li W., Li Q. Effect of Environmental Salt Stress on Plants and the Molecular Mechanism of Salt Stress Tolerance // *Int J Environ Sci Nat Res*. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 555–714.

REFERENCE

1. Balnokin Y. V. Ionic homeostasis and salt tolerance of plants. 70th Timiryazev reading. M.: Science; 2012. 102 p. (in Russ.).
2. Garipov T. T. Soil humus state in the Southern Urals in the modeling of their technogenic salinization. *Ecobiotech*. 2020; 3(1): 13–17. (in Russ.).
3. Kirdey T. A. The protective effect of humate on wheat seedlings with heavy metals. *Regional environmental issues*. 2014;(2): 199–201. (in Russ.).
4. Kostylev P. I., Kudashkina E. B., Kostyleva L. M. Study of salt tolerance of rice in micro-cores. *International research journal*. 2019; (81):78–81. (in Russ.).
5. Krivobochek V. G., Statsenko A. P., Trazanova E. A., Kuryshchev I. A. Free proline – biochemical indicator of plants salt tolerance. *Agrarian scientific journal*. 2017;(1):16–19. (in Russ.).
6. Kusakina M. G., Eremchenko O. Z., Chetina O. A. Influence of technogenic salinization on some biochemical parameters of plants grown in salt dumping area. *Bulletin of Perm university. Biology*. 2013;(1):18–22. (in Russ.).
7. Method of obtaining liquid peat humates: Pat. 2310633 Russian Federation: MPK C05F11/02, C10F7/00 / Kalinnikov Y. A., Vashurina I. Y., Kirdey T. A. Bul. No. 32. 2007. (in Russ.).
8. Udoenko G. V. Salt resistance of cultivated plants. L.: Kolos; 1977. 215 p. (in Russ.).
9. Khabieva N. A., Aliev Z. M., Kurkiev K. U. Effect of sodium chloride on the growth of seedlings and the content of proline and sodium in varieties of winter triticale. *Agricultural Chemistry*. 2020;(2):84–91. (in Russ.).
10. Acosta-Motos J. R., Ortuño M. F., Bernal-Vicente A., Diaz-Vivancos P., Sanchez-Blanco M. J., Hernandez J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*. 2017;7(1):18.
11. Hoagland D. R., Arnon D. E. The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Expt. Stn.* 1950. P. 1–39.
12. Li W., Li Q. Effect of Environmental Salt Stress on Plants and the Molecular Mechanism of Salt Stress Tolerance. *Int J Environ Sci Nat Res*. 2017;7(3): 555–714.

Статья поступила в редакцию 10.05.2021; одобрена после рецензирования 3.06.2021; принята к публикации 15.06.2021.
The article was submitted 10.05.2021; approved after reviewing 3.06.2021; accepted for publication 15.06.2021.