

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137

УДК 633:57.045

Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А.

СОРТОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЯЧМЕНЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ В КРИТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ РОСТА

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»

Реферат. В современных технологиях выращивания зерновых культур важная роль отводится выбору сорта с высоким адаптивным потенциалом и разработке способов повышения устойчивости растений к действию различных стрессов. Целью исследований стало выявление специфических особенностей различных сортов ячменя в критические периоды роста. Исследования проводили в 2020–2021 гг. Объектами исследований служили семь сортов ярового ячменя селекции Московского НИИСХ. Проводили серии лабораторных и вегетационных экспериментов, в которых изучали показатели физиологического статуса и сортовую специфику устойчивости ярового ячменя к оксидативному стрессу, индуцированному осмотически активным раствором сахарозы в период деэтиоляции (лабораторные опыты) и вызванному почвенной засухой на VI этапе органогенеза (вегетационный опыт, сорта Владимир и Раушан). Проводили оценку биометрических показателей проростков и показателей водного статуса. Установлены различия между сортами в критические периоды роста. Во всех опытах сорта реагировали на стрессовое воздействие возрастом содержанием маркера окислительного стресса малонового диальдегида (МДА). Слабая устойчивость вегетативных органов отмечена у: 1) корней – Раушан (3,8 при стрессе против 0,92 мкМ/г сырой массы при оптимальных условиях), Московский 2 (8,1 против 2,0 мкМ/г сырой массы), Эльф (4,5 против 1,38 мкМ/г сырой массы); 2) ростков – Раушан (4,6 при стрессе против 1,54 мкМ/г сырой массы при оптимальных условиях), Эльф (5,0 против 1,37 мкМ/г сырой массы), Нур (6,0 против 2,4 мкМ/г сырой массы). Самыми устойчивыми к стрессу были сорта Московский 86 и Владимир, так как в меньшей степени возросло накопление МДА по сравнению с его базовым содержанием (Московский 86 – ростки: 5,5 против 2,8; корни: 3,0 против 2,2 мкМ/г сырой массы; Владимир – ростки: 3,4 против 2,9; корни: 3,9 против 3,2 мкМ/г сырой массы), также снижалось содержание хлорофиллов а, b и каротиноидов на 5,1; 5,9; 6,7 % соответственно, и 8,0; 17,4; 6,9 % по отношению к контрольным вариантам. Таким образом, сорт Владимир обладает большей устойчивостью к стрессу по сравнению с остальными сортами.

Ключевые слова: сорта ярового ячменя, деэтиоляция, оксидативный стресс, почвенная засуха, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты.

Для цитирования: Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А. Сортоспецифические особенности ячменя в разных условиях выращивания в критические периоды роста // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 129–137. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137.

For citation: Osipova L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A. Variety-specific features of barley at different stages of ontogenesis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 129–137. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137.

Введение

В условиях современных климатических рисков и погодных аномалий возрастает роль сорта в повышении реальной урожайности зерновых культур. Только сорта, сочетающие высокий потенциал продуктивности с устойчивостью к

неблагоприятным факторам среды, обладающие экологической пластичностью, могут обеспечить стабильные сборы зерна [1–3].

В онтогенезе яровых злаков существуют критические периоды роста, в которые растения наиболее уязвимы к абиотическим стрессорам, а нарушения в развитии приводят к необратимым повреждениям структур и функций растительного организма и снижению продуктивности. Первым критическим этапом является сложный период перестройки метаболизма и изменения морфологии растений при переходе от этиолированного роста (скотоморфогенез) к росту на свету (фотоморфогенез) [4–6]. Особенно чувствительны растения к стрессам во второй критический период онтогенеза, когда растения переходят к закладке цветковых зачатков на конусе нарастания побега, развитию генеративных органов, формированию соцветия и цветка. Действие стрессоров приводит к необратимым последствиям: недоразвитию проводящих путей, ограничивающим поступление ассимилятов к верхним колоскам, увеличению редукции заложившихся цветков и сокращению количества будущих зерен.

Изучение физиолого-биохимических механизмов реализации адаптивного потенциала генотипов ячменя актуально, так как направлено на научно обоснованный выбор сорта для современных технологий возделывания ярового ячменя и разработку способов повышения его устойчивости к различным стрессорам.

Цель исследований – оценить сортовую специфику растений ячменя в оптимальных и стрессовых условиях выращивания в критические периоды роста.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2020–2021 гг. Объектом исследований служили сорта ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) селекции Московского НИИСХ, включенные в Госреестр селекционных достижений в разные годы: Московский 2 (1984), Эльф (1997), Раушан (1998), Нур (2002), Владимир (2007), Московский 86 (2011), Надежный (2017). Все сорта среднеспелые с высоким потенциалом урожайности [7].

Лабораторные эксперименты проводили в рулонной культуре в климатическом термостате при поддержании постоянной температуры и влажности воздуха. Контрольные варианты проращивали на воде, опытные варианты – первые трое суток на воде, затем четверо суток на растворах сахарозы 3,8 атм., имитирующих почвенную засуху. На седьмые сутки все варианты переносили на световую площадку и определяли показатели физиологического статуса.

Вегетационные опыты проводили в 2020–2021 гг. в почвенной культуре на сортах Владимир и Раушан на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: гумус (по Тюрину) – 1,54 %; рНКС1 5,08; Нг – 3,07; S – 1,8; Т – 14,87 мг-экв. на 100 г., V – 79 %, P₂O₅ – 89 мг/кг, K₂O – 49 мг/кг. Опыты закладывали по методике Журбицкого [8]. Питательные вещества вносили из расчета NPK (150 мг/кг). Почву известковали по полной норме гидролитической кислотности. Во второй критический период индуцировали засуху прекращением полива на шестом этапе органогенеза. Полив возобновляли через трое суток после наступления влажности устойчивого завядания растений. Во всех экспериментах определяли интенсивность процессов свободнорадикального окисления, которое оценивали по содержанию продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – малонового диальдегида (МДА) на спектрофотометре Helios Omega UV-VIS. Активность синтеза фотосинтетических пигментов: хлорофиллов а, b и каротиноидов определяли в 100% ацетоновой вытяжке [9].

В вегетационных опытах определяли также показатели водного статуса (оводненность и водоудерживающую способность) [10]. Измерения проводили в трех биологических и аналитических повторностях. Результаты обработаны

математически. На рисунках приведены среднеарифметические данные, стандартные отклонения которых не превышают 5 % от средних значений.

Результаты и их обсуждение

На первых этапах органогенеза растения находятся в состоянии этиолированного проростка с гетеротрофным питанием и специфическими физиолого-биохимическими особенностями метаболизма и габитуса. Стратегия растения в этот период направлена на быстрый рост, так как продолжительное нахождение в темноте приводит к необратимой этиоляции и гибели проростка из-за израсходования элементов питания зерновки [11]. Чем раньше росток выйдет на свет, тем быстрее проросток перейдет к автотрофному питанию, формированию габитуса и морфогенезу. Развитие корневой системы в этот период отражает особенности роста и развития взрослого растения, определяет в дальнейшем поглотительную способность растения и доступность почвенной влаги. Взаимоотношение между корнем и ростком генетически обусловлено и определяется особенностями гормонального статуса. В контроле сорта различались по соотношению длины корней и ростков. У сортов Владимир (росток – 11,6, корень – 9,7 см), Московский 86 (росток – 11, корень – 9 см), Нур (росток – 13, корень – 13,8 см) и Надежный (росток – 12, корень – 11 см) линейные вегетативных органов были практически одинаковы. У сортов Эльф, Раушан, Московский 2 длина корня превышала длину ростка, соответственно на 31, 64 и 38 %. Различия между сортами связаны, очевидно, с интенсивностью синтеза гибберелловой кислоты, ключевым регулятором роста, влияющим на деление и удлинение клеток [12].

При появлении проростка на свет развивается морфофизиологический процесс дэтиоляции, продолжающийся до формирования первых фотосинтетически активных листьев. Фотоморфогенез начинается с подавления вытягивания побега, перестройки экспрессии генома и метаболизма растения.

Сорта ячменя в этот период различались по интенсивности редокс-процессов, связанных с генерацией активных форм радикалов. Благодаря неразвитой ассимиляционной поверхности происходит перевозбуждение антенных комплексов фотосистемы, образуются излишки световой энергии, что приводит к активации образования свободных радикалов и развитию оксидативного стресса. В современной концепции окислительно-восстановительных процессов в биологических системах указано, что свободные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью, образуются в биохимических реакциях и спонтанно, и целенаправленно, и являются обязательным соединением в нормальном метаболизме, а их недостаток, как и активная генерация, вызывают нарушения в метаболизме растения [13].

В оптимальных условиях культивирования наиболее активно свободнорадикальные процессы происходили у сортов Владимир и Нур. Наименьшее накопление малонового диальдегида, продукта перекисидации липидов, наблюдали у сортов Эльф и Раушан (рисунок 1).

Сортовая специфика проявлялась в отношении редокс-процессов в ростках и корнях ячменя. У сорта Нур окислительные процессы более выражены в корнях. Наоборот, у сортов Московский 86 и Раушан интенсивность генерации свободных радикалов была ниже в корнях, чем в ростках на 19,7 и 40,2 % соответственно. У сортов Владимир и Эльф генерация активных свободных радикалов была близкой в обоих органах – ростках и корнях (см. рисунок 1).

В нормальных условиях выращивания уровень продуктов ПОЛ контролируется антиоксидантной системой защиты. Возможно, базовая устойчивость сортов, оцениваемая по генерации свободных радикалов, обусловлена различной интенсивностью образования антиоксидантных соединений.

В свете последних исследований роли свободных радикалов в метаболизме растительного организма, как источника сигналинга, вызывающего защитные реакции, базовое содержание продуктов ПОЛ можно рассматривать как показатель интенсивности физиолого-биохимических процессов. При стрессовом воздействии и генерации избыточных количеств свободных радикалов МДА рассматривается как маркер оксидативного стресса.

Осмотический стресс тормозил рост проростка, что связано по мнению [14] с уменьшением синтеза эндогенных гиббереллинов. Депрессия роста была выражена у этиолированного ростка и составляла 65,4–72,4 % от контроля. Ингибирование ростовой функции корневой системы было слабее и варьировало в интервале 47,2–63,1 % от контрольных вариантов различных сортов. Наименьшая депрессия роста отмечена у сорта Московский 86 – 64,8 и 54,6 % соответственно у ростка и корней, наибольшая – у сорта Московский 2 – 72,4 и 63,1 %.

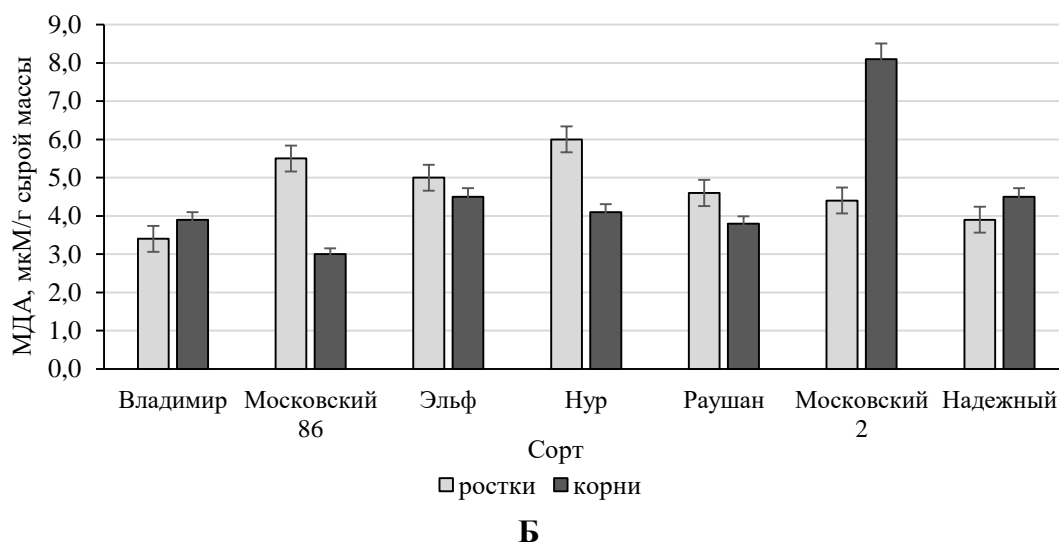
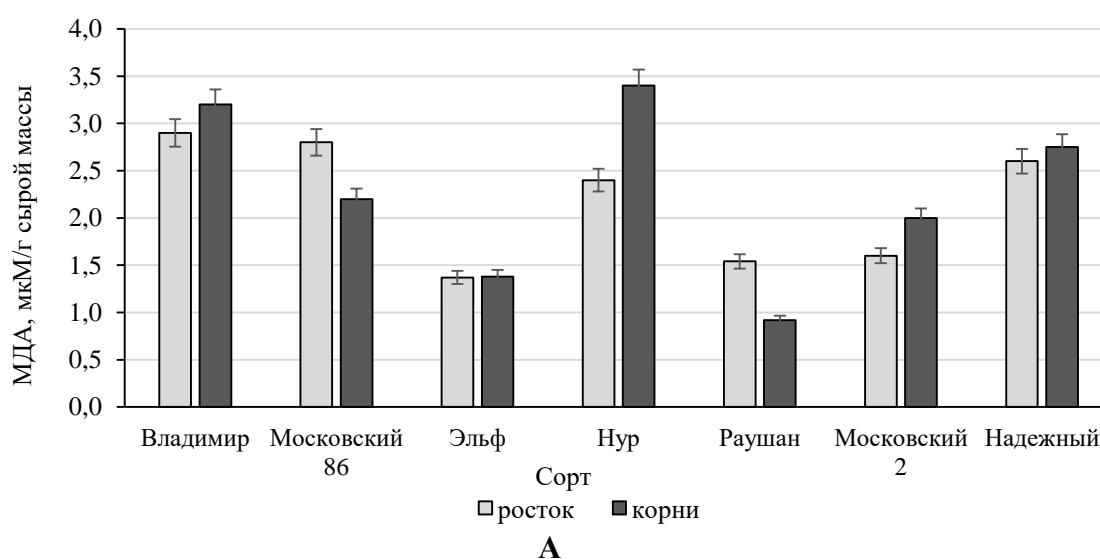


Рисунок 1 – Содержание МДА в ростках и корнях сортов ячменя в оптимальных условиях выращивания и в условиях оксидативного стресса (2020–2021 гг.)

Примечание. А – оптимальные условия; Б – осмотический стресс.

Оксидативный стресс способствовал усилению генерации свободных радикалов и повышению содержания продуктов перекисного окисления липидов. Все

сорта ячменя прореагировали на стрессовое воздействие возрастанием содержания маркера окислительного стресса малонового диальдегида (рисунок 1). Сорты различались реакцией ростков и корней на стрессор. Слабая устойчивость корней отмечена у сортов Раушан, Московский 2, Эльф; ростков: у Раушан, Эльф, Нур. Наиболее устойчивыми к стрессу оказались сорта Московский 86 и Владимир, у которых в меньшей степени возросло накопление МДА по сравнению с его базовым содержанием (см. рисунок 1).

Вместе с изменением редокс-статуса проростков оксидативный стресс задерживал синтез хлорофилла а – основного пигмента, участвующего в поглощении и преобразовании световой энергии квантов света в энергию химических связей. Наблюдали также торможение образования хлорофилла b и каротиноидов, которые вместе со светособирающей функцией участвуют в фотозащите формирующихся структур фотосинтетического аппарата, препятствуя образованию свободных радикалов, повреждающих молекулы хлорофилла и липиды тилакоидных мембран хлоропластов.

Сорта ячменя различались по степени торможения синтеза пигментов (рисунок 2). Наиболее устойчивыми к стрессору оказались сорта Владимир и Московский 86, у которых содержание хлорофиллов а, b и каротиноидов снижалось на 5,1; 5,9; 6,7% и 8,0; 17,4; 6,9 % соответственно по отношению к контрольным вариантам без стрессовой нагрузки.

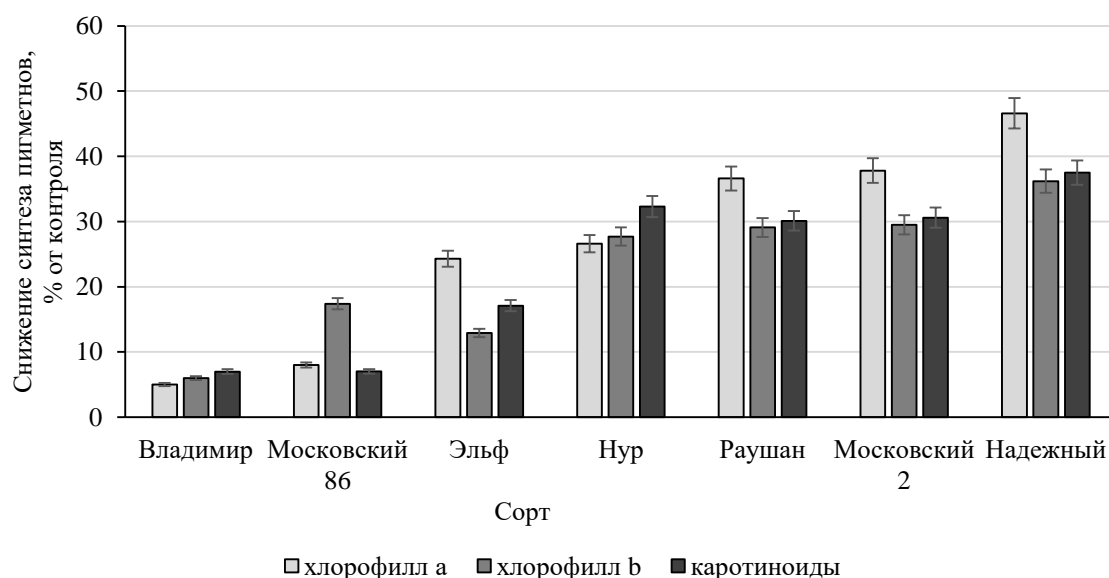


Рисунок 2 – Влияние оксидативного стресса на торможение синтеза фотосинтетических пигментов в ростках сортов ячменя (2020–2021 гг.)

В вегетационных опытах оценка сортов Владимир и Раушан во второй критический период закладки и формирования генеративной сферы выявила различия по показателям водного статуса, уровню свободнорадикального окисления и содержанию пигментов. У обоих сортов нарастающая почвенная засуха приводила к снижению оводненности листьев верхнего яруса и возрастанию водоудерживающей способности, которую рассматривают как показатель сложившегося в растениях водного баланса (рисунок 3).

При действии почвенной засухи водоудерживающая способность листьев у сорта Владимир возрастала с увеличением водного дефицита, что способствовало поддержанию оводненности. У сорта Раушан способность регулировать потери воды

увеличивалась до наступления влажности устойчивого завядания растений, далее наблюдалось ее снижение, что свидетельствует о меньшей устойчивости этого сорта.

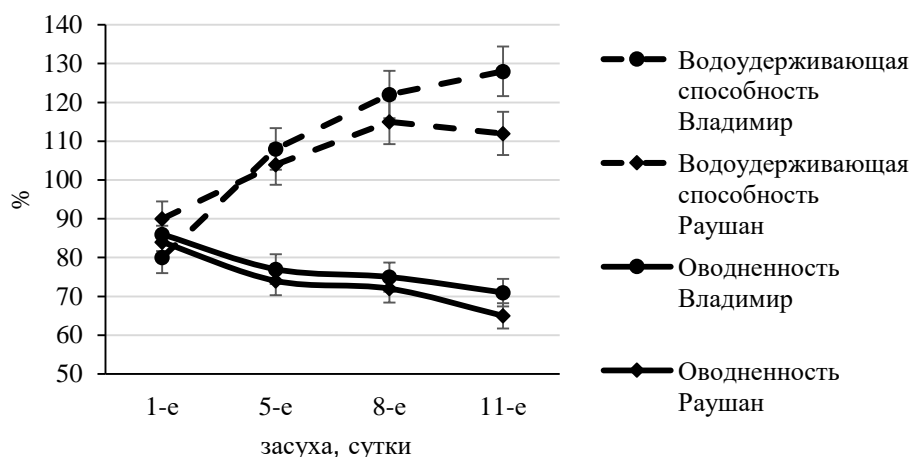
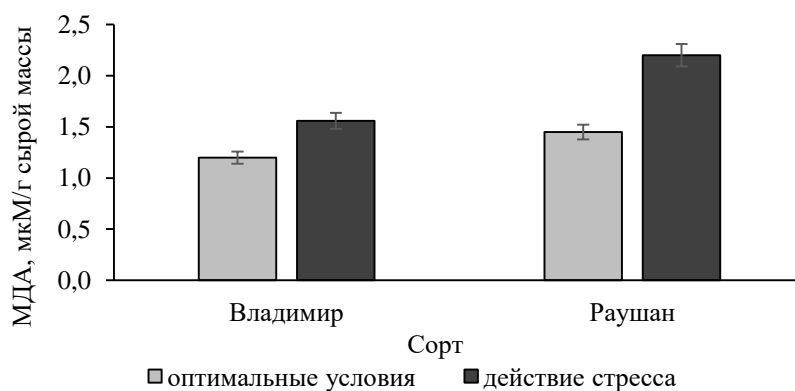
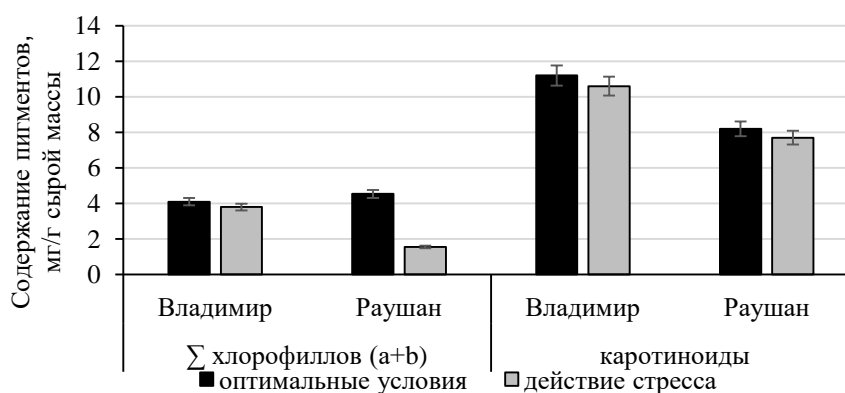


Рисунок 3 – Оводненность и водоудерживающая способность листьев у сортов ячменя в период засухи (2020–2021 гг.)

Почвенная засуха вызывала развитие оксидативного стресса из-за усилившейся генерации свободных радикалов, о чем свидетельствовало накопление малонового диальдегида. Содержание МДА в большей степени возрастало у сорта Раушан – на 140 % против 120 % у сорта Владимир (рисунок 4).



А



Б

Рисунок 4 – Влияние почвенной засухи на содержание МДА (А) и пигментов фотосинтеза (Б) у сортов ячменя (2020–2021 гг.)

При действии стресса изменялся синтез фотосинтетических пигментов. У сорта Раушан тормозилось образование и хлорофиллов, и каротиноидов. У сорта Владимир снижалось содержание каротиноидов, но увеличивалось количество хлорофиллов за счет возрастания хлорофилла *b*, предохраняющего в стрессовых условиях фотосинтетический аппарат от повреждения.

При незначительных различиях массы зерна у сортов в контроле 0,92 и 0,89 соответственно у сортов Владимир и Раушан, депрессия продуктивности была больше у сорта Раушан, что подтверждает его меньший адаптивный потенциал в критический период онтогенеза.

Выводы

Таким образом, сортовая специфика изучаемых сортов проявлялась в интенсивности редокс-процессов, происходящих в ростках и корнях независимо от условий выращивания. В оптимальных условиях наиболее активно свободнорадикальные процессы происходили у сортов Владимир (ростки – 2,9; корни – 3,2 мкМ/г сырой массы) и Нур (ростки – 2,4; корни – 3,4 мкМ/г сырой массы), в меньшей степени – у сортов Эльф (ростки – 1,37; корни – 1,38 мкМ/г сырой массы) и Раушан (ростки – 1,54; корни – 0,92 мкМ/г сырой массы).

В условиях осмотического стресса ингибирование ростовой функции ростков было выражено сильнее, чем корней. Наименьшая депрессия роста в этих условиях была у сорта Московский 86, наибольшая – у сорта Московский 2.

Независимо от сорта стресс вызывал увеличение содержания МДА и снижение синтеза хлорофилловых пигментов. Сортовая специфика была выражена в различной реакции ростков и корней на стресс. Сорта Московский 86 и Владимир оказались более устойчивы к воздействию оксидативного стресса, так как отличались меньшим накоплением МДА в органах (Московский 86: ростки – 5,5 против 2,8; корни – 3,0 против 2,2 мкМ/г сырой массы; Владимир: ростки – 3,4 против 2,9; корни – 3,9 против 3,2 мкМ/г сырой массы) и меньшей степенью торможения синтеза хлорофилловых пигментов (процент снижения синтеза хлорофилла *a* – 5 и 8 %; хлорофилла *b* – 6 и 17 %; каротиноидов – 7 % у сортов Московский 86 и Владимир соответственно).

Вегетационный опыт подтвердил, что сорт Владимир отличался большей устойчивостью к воздействию водного стресса в критический период роста растений ячменя (VI этап органогенеза) по сравнению с сортом Раушан за счет большего поддержания оводненности листьев (87–71 % у Владимира против 84–65 % у Раушан), меньшему накоплению МДА (120 % против 140 %), а также увеличению содержания хлорофилла *b* в этих условиях, защищая фотосинтетический аппарат от повреждений, что в итоге отразилось на меньшей потере продуктивности по сравнению с сортом Раушан (0,92 против 0,89 г).

Литература

1. Левакова О. В., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Болдырев М. А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
2. Шуплецова О. Н., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 192–199. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199.
3. Колмыкова Т. С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов // Агрехимия. 2012. № 1. С. 83–94.
4. Armarega Marriott T., Sandoval-Ibanez O., Kowalewska L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies // J. Exp. Bot. 2019. No. 71(4). P. 1215–1225. DOI: 10.1093/jxb/erz496.
5. Яковлев П. А. Влияние микроэлементов на азотный обмен и устойчивость тритикале и пшеницы к стрессовым факторам внешней среды. Автореф. дисс. ... к.б.н. М.: РГАУ – МСХА. 2015. 20 с.

6. Кабашникова Л. Ф., Абрамчик Л. М., Сердюченко Е. В., Капылова Л. В. Реакция проростков ячменя (*Hordeum vulgare*) при сочетанном действии гипертермии и обезвоживания // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2013. № 3. С. 60–66.
7. Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Романкин М. М., Ерошенко Н. А. Селекция инновационных сортов ярового ячменя в условиях Центрального Нечерноземного региона России // Зерновая ферма России. 2017. № 3. С. 25–28.
8. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 266 с.
9. Осипова Л. В., Верниченко И. В., Ромодина Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А. Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием // Агрохимия. 2019. № 7. С. 67–74. DOI: 10.1134/S000218811907010X.
10. Удовенко Г. В., Кожушко Н. Н. Информативность некоторых физиологических параметров в связи с устойчивостью сортов пшеницы к засухе // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 3. С. 59–65.
11. Кузнецов В. В., Дорошенко А. С., Кудрякова Н. В., Данилова М. Н. Роль фитогормонов и света в процессе деэтиоляции // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 6. С. 563–577. DOI: 10.31857/S001533032006010X.
12. Kai K., Kasa S., Sakamoto M., Aoki N., Watabe G., Yuasa T., Iwaya-Inoue M., Ishibashi Y. Role of reactive oxygen species produced by NADPH oxidase in gibberellin biosynthesis during barley seed germination // Plant Signal. Behav. 2016. No. 11. Art. No. e1180492. DOI: 10.1080/15592324.2016.1180492.
13. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biol. 2015. No. 4. P. 180–183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.002.
14. Llanes A., Andrade A., Alemano S., Luna V. Alteration of endogenous hormonal levels in plants under drought and salinity // Am. J. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 1357–1371. DOI:10.4236/AJPS.2016.79129.

References

1. Levakova O. V., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Boldyrev M. A. Assessment of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the non-chernozem zone of the Russian Federation // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 3. P. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
2. Shupletsova O. N., Ogorodnikova S. Yu., Nazarova Ya. I. Effects of nonspecific resistance in barley genotypes obtained by cell selection // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181. No. 4. P. 192–199. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199.
3. Kolmykova T. S. Efficiency of plant growth regulators under abiotic stress // Agrochimia. 2012. No. 1. P. 83–94.
4. Armarega Marriott T., Sandoval-Ibanez O., Kowalewska L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies // J. Exp. Bot. 2019. Vol. 71. P. 1215–1225. DOI: 10.1093/jxb/erz496.
5. Yakovlev P. A. Influence of trace elements on nitrogen metabolism and resistance of triticale and wheat to environmental stress factors. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA), 2015. 20 p.
6. Kabashnikova L. F., Abramchik L. M., Serdyuchenko E. V., Kapylova L. V. Reaction of barley sprouts (*Hordeum vulgare*) under the combined action of hyperthermia and dehydration // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series. 2013. No. 3. P. 60–66.
7. Eroshenko L. M., Eroshenko A. N. Selection of innovative varieties of spring barley in the conditions of the Central Non-Chernozem Region of Russia // Grain farm of Russia. 2017. No. 3. P. 25–28.
8. Zhurbitsky Z. I. Theory and practice of the vegetative method. Moscow: Nauka, 1968. 266 p.
9. Osipova L. V., Vernichenko I. V., Romodina L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A. Spring barley resistance to abiotic stress, depending on the level of mineral nutrition and preprocessing of seeds by selenium and silicon // Agrochimia. 2019. No. 7. P. 67–74. DOI: 10.1134/S000218811907010X.
10. Udoenko G. V., Kozhushko N. N. Informativeness of some physiological parameters in connection with the resistance of wheat varieties to drought // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology]. 1980. Vol. 15. No. 3. P. 59–65.
11. Kuznetsov V. V., Doroshenko A. S., Kudryakova N. V., Danilova M. N. The role of phytohormones and light in the process of de-etiolation // Fiziologiya Rastenij. 2020. Vol. 67. No. 6. P. 563–577. DOI: 10.31857/S001533032006010X.
12. Kai K., Kasa S., Sakamoto M., Aoki N., Watabe G., Yuasa T., Iwaya-Inoue M., Ishibashi Y. Role of reactive oxygen species produced by NADPH oxidase in gibberellin biosynthesis during barley seed germination // Plant Signal. Behav. 2016. Vol. 11. Art. No. e1180492. DOI: 10.1080/15592324.2016.1180492.
13. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biol. 2015. Vol. 4. P. 180–183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.002.
14. Llanes A., Andrade A., Alemano S., Luna V. Alteration of endogenous hormonal levels in plants under drought and salinity // Am. J. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 1357–1371. DOI:10.4236/AJPS.2016.79129.

UDC 633:57.045

Osipova L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A.

VARIETY-SPECIFIC FEATURES OF BARLEY AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS

Summary. *In modern technologies of growing grain crops, high priority is given to the choice of varieties with significant adaptive potential and the development of ways to increase the resistance of plants to the action of various stresses. The purpose of our research was to identify the specific features of different varieties of barley during critical periods of growth. The studies were carried out in 2020–2021. The objects of research were varieties of spring barley created in the Moscow Research Institute of Agriculture. A series of laboratory and vegetative experiments were conducted, in the course of which we studied the indicators of the physiological status and varietal specificity of the resistance of spring barley to oxidative stress induced by an osmotically active sucrose solution during de-etiolation (laboratory experiments) and caused by soil drought at the VI stage of organogenesis (vegetative experiment, varieties ‘Vladimir’ and ‘Raushan’). The biometric indicators of sprouts and indicators of water status were evaluated. In all experiments, the varieties responded to stress by increasing the content of the oxidative stress marker malondialdehyde (MDA). Weak resistance of vegetative organs was noted in 1) roots – variety ‘Raushan’ (3.8 under stress conditions vs. 0.92 $\mu\text{M/g}$ of raw mass under optimal conditions). ‘Moskovsky 2’ (8.1 vs. 2.0), ‘Elf’ (4.5 vs. 1.38); 2) sprouts – ‘Raushan’ (4.6 vs. 1.54), ‘Elf’ (5.0 vs. 1.37), ‘Nur’ (6.0 vs. 2.4). Varieties ‘Moskovsky 86’ and ‘Vladimir’ were the most resistant to stress since the accumulation of MDA increased to a lesser extent compared to its base content (‘Moskovsky 86’ – sprouts: 5.5 vs. 2.8; roots: 3.0 vs. 2.2 $\mu\text{M/g}$ of raw mass; ‘Vladimir’ – sprouts: 3.4 vs. 2.9; roots: 3.9 vs. 3.2 $\mu\text{M/g}$). Moreover, the content of chlorophylls a, b and carotenoids in varieties ‘Moskovsky 86’ and ‘Vladimir’ decreased respectively by 5.1; 5.9; 6.7 % and 8.0; 17.4; 6.9 % compared to the control options. Thus, variety ‘Vladimir’ is more stress-resistant than the other ones.*

Keywords: *spring barley varieties, de-etiolation, oxidative stress, soil drought, malondialdehyde, photosynthetic pigments.*

Осипова Людмила Владимировна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: legos4@yandex.ru.

Курносова Татьяна Леонидовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: kurnosova_t@mail.ru.

Быковская Ирина Александровна, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: bykovskaya_irina@bk.ru.

Osipova Lyudmila Vladimirovna, Dr. Sc. (Biol.), chief researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: legos4@yandex.ru.

Kurnosova Tatyana Leonidovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: kurnosova_t@mail.ru.

Bykovskaya Irina Aleksandrovna, senior researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: bykovskaya_irina@bk.ru.

Дата поступления в редакцию – 28.09.2021.

Дата принятия к печати – 05.11.2021.