

УДК 581.036.1:[633.11 + 633.14]

*Л. М. АБРАМЧИК, Е. В. СЕРДЮЧЕНКО, В. Н. МАКАРОВ, Л. А. ЗЕНЕВИЧ,
Н. Б. ЖАВОРОНКОВА, Л. Ф. КАБАШНИКОВА*

СОРТОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ГЕКСАПЛОИДНОГО ТРИТИКАЛЕ НА ТЕПЛОВОЙ СТРЕСС

Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, e-mail: kabaschnikova@ibp.org.by

(Поступила в редакцию 2013)

Введение. Температура, как один из важнейших факторов среды, контролирует активность организмов в онтогенезе и в процессе эволюции. В литературе накоплено много данных по разнообразным аспектам действия на растение теплового шока (ТШ) [1], что связано с неослабевающим интересом к изучению механизмов стресса как общебиологического явления. Наиболее термочувствительным процессом в растительных организмах считается фотосинтез [2]. Воздействие температур, лежащих за пределами оптимальных, приводит к обратимым и необратимым структурно-функциональным изменениям фотосинтетического аппарата (ФСА), что влечет за собой изменение фотосинтетической активности растений. Повышенная температура, как и другие неблагоприятные факторы внешней среды, индуцирует усиленное образование активных форм кислорода (АФК) в хлоропластах и других клеточных компартментах, что приводит к развитию окислительного стресса и повреждению клеточных структур [3]. Повреждающему действию свободных радикалов и АФК противостоит антиоксидантная система, которая представлена антиоксидантными ферментами и низкомолекулярными компонентами антиоксидантной защиты [4]. Адаптация растений к действию повышенной температуры происходит на фоне накопления защитных веществ, предотвращающих развитие в клетках окислительных процессов. Одним из классов таких соединений являются лектины, характеризующиеся широким спектром физиологического действия, в котором особое место занимает стрессовый ответ [5, 6].

Несмотря на обилие литературных данных, сведения о влиянии ТШ на рост и развитие растений противоречивы и выявление механизмов ответной реакции растений на действие гипертермии является актуальной задачей [7, 8]. Ответная реакция растений на повышение температуры существенно зависит как от типа и силы стрессового воздействия, так и от их исходного физиологического состояния и генетических особенностей. В этой связи представляется важным получение информации о сортоспецифических особенностях стрессового ответа генотипически различающихся сортов тритикале, что будет способствовать созданию системы критериев оценки устойчивости этой ценной зерновой и кормовой культуры к ТШ.

Целью данной работы является выяснение физиологических и молекулярных реакций генотипически различающихся сортов растений ярового тритикале Бого и Ульяна на повышенную температуру. В рамках поставленной цели проведено сравнительное изучение влияния повышенной температуры на морфоструктурные характеристики, структурно-функциональное состояние фотосинтетического аппарата, содержание и активность защитных веществ лектинов и активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях контрастных по параметрам роста форм ярового гексаплоидного тритикале.

Материалы и методы исследования. Для проведения опытов использовали зеленые проростки ярового тритикале контрастных по параметрам роста сортов «Бого» и «Ульяна», которые выращивали в лабораторных условиях при 16-часовом фотопериоде, полихроматичном белом

свету ($120 \text{ мкмоль квантов} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) и температуре $22/16^\circ\text{C}$ (день/ночь) на специальных сетках на слое фильтровальной бумаги, увлажненной водопроводной водой.

Тепловую обработку (вариант ТШ) растений проводили в воздушном термостате ТС-80М-2 в течение 3 ч при 42°C и постоянном освещении (интенсивность $120 \text{ мкмоль квантов} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$). Для обработки интактных зеленых проростков тритикале АБК использовали срезанные 7-дневные проростки, которые помещали в стаканы с H_2O (контроль) или на раствор АБК (10^{-6} M) на 24 ч. После инкубации на ингибиторе листья подвергали ТШ.

Спектры флуоресценции нативных листьев регистрировали при температуре жидкого азота (-196°C) на флуориметре Solar LSF 222 (Беларусь). Флуоресценцию хлорофилла (Хл) возбуждали синим светом с длиной волны 440 нм. Спектры флуоресценции регистрировали в диапазоне 600–760 нм.

Фотосинтетические пигменты экстрагировали из листьев зеленых проростков тритикале 100%-ным ацетоном. Количество пигментов в экстрактах определяли по спектрам поглощения (спектрофотометр «Uvikon 931», Германия). Содержание пигментов в экстрактах рассчитывали по [9].

Определение содержания антоцианов. Растительную ткань растирали в фарфоровой ступке, добавив несколько капель 1%-ного раствора HCl . В гомогенат добавляли 2 мл 1%-ного раствора HCl и центрифугировали в течение 10 мин при 7 000 об/мин. Данную процедуру повторяли несколько раз до полного обесцвечивания осадка. Полученные экстракты объединяли, добавляли 95%-ный раствор этанола до общего объема 20 мл и выдерживали при 4°C 12–15 ч, затем вновь центрифугировали. Количество антоцианов в сырой массе навески рассчитывали по оптической плотности при длине волны 535 нм, используя коэффициент молярной экстинкции для красителя Конго красный: $K = 0,028$.

Определение активности растительных лектинов. Определение активности растительных лектинов включает подготовку растительного материала, подготовку эритроцитов и проведение реакции гемагглютинации.

Растительный материал. 10–20 г растительного материала гомогенизировали в охлажденном фосфатном буфере. Гомогенат фильтровали и центрифугировали 15 мин при 8000 об/мин. Из супернатанта осаждали белки концентрированной HCl . Раствор центрифугировали 15 мин для отделения осадка. Далее щелочью NaOH доводили рН до 8,5 и центрифугировали 15 мин. Осадок удаляли, а в супернатанте белки осаждали этанолом. Для этого добавляли этанол в соотношении 1:2 (1 часть этанола + 2 части растительного экстракта). Центрифугировали и осадок ресуспендировали фосфатно-солевым буфером (ФСБ). Содержание белка в полученной фракции определяли методом Лоури [10].

Подготовка эритроцитов. 0,5 мл свежей крови I группы сразу после забора разбавляли ФСБ в 10 раз и осаждали эритроциты центрифугированием в течение 5 мин при 2000 об/мин. Полученный осадок эритроцитов промывали 3 раза ФСБ. Количество эритроцитов подсчитывали в камере Горяева, рассчитывали количество клеток в 1 мл и в пробе (25 мкл). Рабочая концентрация эритроцитов – 10^8 клеток/мл.

Реакцию гемагглютинации (качественный анализ) проводили в ячейках планшета, в которые последовательно вносили экстракт листьев (в 3 повторностях) и по 25 мкл эритроцитов и ФСБ. Реакцию гемагглютинации оценивали через 2 ч по качеству осаждения эритроцитов, наблюдаемого в микроскопе. Гемагглютинирующую лектиновую активность (ЛА) оценивали в обратных концентрациях белка единицах.

Количественное содержание лектинов в листьях растений тритикале определяли иммуноферментным методом, используя антитела (АТ) на агглютинин зародышей пшеницы (АЗП). В качестве вторичных АТ использовали антитела кролика против иммуноглобулинов мыши, конъюгированные с ферментом пероксидазой хрена, и о результате реакции судили по появлению цветной реакции при его взаимодействии с субстратом о-фенилендиамином. Учет результатов осуществляли на спектрофотометре при 492 нм [11].

Содержание абсцизовой кислоты (АБК) определяли с помощью иммуноферментного метода с использованием наборов для тестирования, полученных из Института биологии Уфимского

научного центра Академии наук РАН [12]. Метод основан на конкуренции между определяемым низкомолекулярным гаптенем и иммобилизированным на полистероловой поверхности антигеном (гаптен-белковый конъюгат) за центры связывания антител.

Перекисное окисление липидов (ПОЛ) тестировали по количеству малонового диальдегида (МДА), содержание которого определяли по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) с последующим измерением оптической плотности на спектрофотометре «Uvikon 931» (Германия) при длине волны 532 нм. Количество МДА рассчитывали используя молярный коэффициент $1,55 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ с учетом концентрации общего белка в пробе.

Результаты и их обсуждение. Проведен сравнительный анализ морфоструктурных показателей зеленых проростков двух сортов тритикале, генотипически различающихся по высоте растений, короткостебельного Бого и длинностебельного Ульяна (табл. 1). Для 7-дневных проростков сорта Ульяна характерна несколько большая длина и ширина листа по сравнению с сортом Бого, но более существенные различия наблюдаются по площади листа и длине coleoptily: длинностебельный сорт Ульяна имеет превышение по этим показателям над сортом Бого в 1,26 и 1,3 раза соответственно. Тепловая обработка проростков в течение 3 ч при температуре 42 °С не вызвала заметных изменений морфофизиологических параметров (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Морфометрические показатели 7-дневных проростков гексаплоидного тритикале Бого и Ульяна в норме и в условиях ТШ

Вариант	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см ²	Длина coleoptily, см
<i>Ульяна</i>				
Контроль	11,3±0,43	0,38±0,017	3,57±0,15	2,5±0,08
ТШ	10,9±0,09	0,37±0,014	3,30±0,29	2,6±0,011
<i>Бого</i>				
Контроль	10,3±0,58	0,33±0,012	2,82±0,11	1,9±0,04
ТШ	10,2±0,33	0,32±0,014	2,73±0,16	2,0±0,07

П р и м е ч а н и е. Представлены средние арифметические значения из 4 независимых экспериментов.

Наблюдаемые визуально и подтвержденные экспериментально различия морфоструктурных показателей проростков двух сортов тритикале Бого и Ульяна вызвали необходимость оценить эндогенное содержание гормона роста АБК в листьях зеленых проростков короткостебельного и длинностебельного тритикале, так как известно, что этот фитогормон, являясь регулятором ростовых процессов растений, оказывает тормозящее действие на некоторые формообразовательные процессы. Результаты сравнительного анализа выявили существенные сортоспецифические отличия между исследуемыми формами тритикале по эндогенному содержанию АБК (рис. 1). У низкорослой формы тритикале сорта Бого эндогенный уровень антистрессового гормона АБК был выше, чем у высокорослого Ульяна на 42 %. Отличались эти сорта и по их реакции на тепловое воздействие (рис. 1). В условиях ТШ отмечено повышение содержания АБК в растениях тритикале Бого и Ульяна на 17 и 45 % соответственно. Таким образом, длинностебельный сорт Ульяна накапливал гормон в количестве, превышающем уровень его в Бого почти в 3 раза.

В табл. 2 приведены результаты сравнительного анализа содержания фотосинтетических пигментов в листьях 7-дневных проростков двух сортов гексаплоидного тритикале Бого и Ульяна, различающихся по эндогенному уровню АБК. Видно, что изучаемые сорта существенно не различались по содержанию хлорофилловых пигментов в пересчете на единицу сырой массы листа, в то время как количество каротиноидов у длинностебельного Ульяна было на 18 % больше по

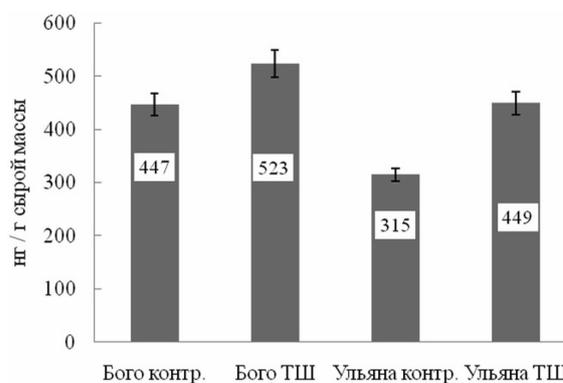


Рис. 1. Содержание АБК в листьях двух сортов тритикале в норме и в условиях ТШ

сравнению с короткостебельным сортом. После ТШ в листьях обоих сортов тритикале сохранялось исходное количество хлорофилловых пигментов, не менялось отношение Хл *a* и *b*. При этом на фоне неизменного содержания Хл наблюдалось увеличение количества каротиноидов. Известно, что каротиноиды обладают способностью «тушить» возбужденные состояния хлорофилла и синглетный кислород и диссипировать избыточную энергию в тепло [13], выполняя функцию первичной защиты фотосинтетического аппарата от генерируемых при его работе АФК.

Т а б л и ц а 2. Содержание фотосинтетических пигментов и антоцианов в листьях двух сортов гексаплоидного тритикале, различающихся эндогенным содержанием АБК, в норме и в условиях температурного шока (мкг/г сырой массы)

Вариант	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл (<i>a+b</i>)	Каротиноиды	Антоцианы
<i>Бого</i>					
Контроль	1450,0±0,05	500,0±0,031	1950,0±0,120	380,0±0,024	65,2±0,030
ТШ	1510,0±0,029	520,0±0,017	2030,0±0,037	407,0±0,012	63,9±0,010
<i>Ульяна</i>					
Контроль	1350,0±0,016	470,0±0,028	1820,0±0,045	450,0±0,061	90,1±0,030
ТШ	1310,0±0,027	460,0±0,015	1770,0±0,059	518±0,010	89,0±0,020

Количественная оценка содержания непластидных пигментов антоцианов, играющих важную роль в защите растений при стрессовых воздействиях, показала, что в листьях тритикале длинностебельного сорта Ульяна содержание антоцианов превышало наблюдаемое в короткостебельном сорте Бого в среднем на 38 % (табл. 2), причем повышенная температура не вызывала достоверных изменений в содержании антоцианов. Таким образом, изучаемые сорта тритикале имели исходно одинаковое количество хлорофилловых пигментов, но для длинностебельного сорта Ульяна характерно повышенное содержание каротиноидов и антоцианов. В условиях гипертермии количество зеленых пигментов оставалось без изменений в листьях обоих сортов тритикале, тогда как ТШ вызывал некоторое повышение уровня каротиноидов как у сорта Бого, так и Ульяна, причем у последнего в большей степени. Возможно, сортовые различия изменения каротиноидов в проростках тритикале в условиях гипертермии связаны с различным содержанием эндогенной АБК, которая, как известно, синтезируется из виолоксантина или неоксантина [14].

Для оценки структурного состояния ФСА двух изучаемых сортов тритикале в условиях повышенной температуры было проведено исследование низкотемпературных (-196°C) спектров флуоресценции зеленых проростков тритикале. При температуре жидкого азота в спектрах флуоресценции листьев тритикале выявлены две полосы излучения с максимумами около 695 и 685 нм, которые принадлежат ФС 2, и свечение в области 740 нм, обусловленное флуоресценцией Хл ФС 1. Отношение интенсивности флуоресценции при 740 и 685 нм (I_{740}/I_{685}) в оптимальных температурных условиях было одинаковым для обоих сортов гексаплоидного тритикале и составляло примерно 3,6 (рис. 2). На основании полученных данных можно предположить, что исследованные сорта тритикале не различаются структурным составом главных пигмент-белковых компонентов (ПБК) фотосинтетической мембраны – светособирающего комплекса и реакционных центров фотосистем 1 и 2. После прогревания листьев тритикале при температуре 42°C в течение 3 ч происходило снижение интенсивности флуоресценции Хл в зеленых проростках исследуемых сортов тритикале как в коротковолновой (685 нм) области спектра, излучаемой антенной реакционного центра (РЦ) ФС 2, так и в длинновол-

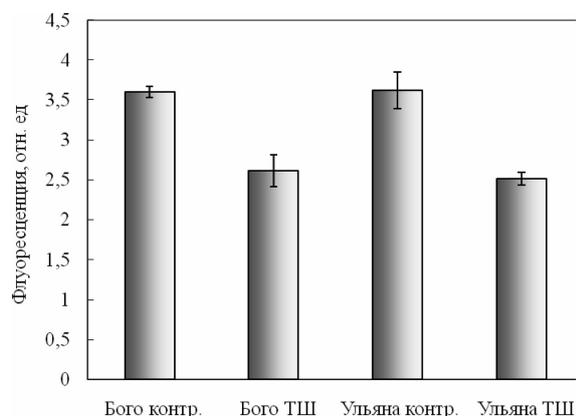


Рис. 2. Влияние ТШ на соотношение основных максимумов флуоресценции (-96°C) в зеленых проростках тритикале разных сортов

новой (740 нм), принадлежащей РЦ ФС1, что свидетельствует о негативном действии ТШ на структурную организацию фотосинтетического аппарата двух сортов тритикале. При этом необходимо отметить, что в бóльшей степени была снижена интенсивность флуоресценции длинноволнового максимума за счет чего отношение I_{740}/I_{685} уменьшилось с 3,6 у контрольных вариантов до 2,6 у сорта Бого и 2,5 у сорта Ульяна. Одной из причин нарушения стехиометрии ПБК может быть уменьшение оттока электронов на ФС 1, обусловленное индуцированными нагреванием ультраструктурными изменениями ФС 2, которая, как известно, наименее устойчива к различного рода неблагоприятным воздействиям. В ряде работ показано, что многие абиотические факторы влияют на организацию мембранных белков, связывающих пигменты и являющихся структурными элементами ФС 2 [15], вызывая их конформационные изменения. Модификация хлорофиллсвязывающих белков ФС 2 приводит к нарушению миграции энергии между фотосистемами, что выражается в уменьшении соотношения главных пигмент-белковых комплексов фотосинтетических мембран. Хотя нельзя исключить и возможность уменьшения поступления энергии к реакционным центрам обеих фотосистем из-за нарушения функции светосбора в условиях повышенной температуры. Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о негативном действии ТШ на структурную организацию фотосинтетических мембран как длинностебельного, так и короткостебельного сортов тритикале.

О степени развития окислительных процессов и устойчивости растений двух сортов гексаплоидного тритикале, различающихся эндогенным уровнем АБК, при ТШ судили по накоплению конечного продукта ПОЛ – МДА, содержание которого является важным показателем устойчивости растений к окислительному стрессу и комплексным показателем активности антиоксидантной системы растений [16]. Установлено, что длинностебельный сорт тритикале Ульяна на фоне более низкой концентрации АБК обладает изначально более высоким количеством МДА, которое в 1,7 раза выше по сравнению с сортом Бого (рис. 3). По-видимому, окислительные процессы в липидном бислое клеточных мембран короткостебельного сорта Бого протекают менее интенсивно. При гипертермии отмечена тенденция к некоторому снижению количества конечных продуктов ПОЛ в растениях обоих сортов по сравнению с контролем. В целом полученные данные свидетельствуют о высоком уровне активности антиоксидантных систем в проростках тритикале, регулирующих скорость окислительных процессов, что способствует сохранению окислительного гомеостаза растений в условиях ТШ.

Участие лектинов в развитии ответных реакций растений тритикале в условиях гипертермии было изучено по изменению содержания и активности АЗП в условиях ТШ. Из приведенных на рис. 4 данных видно, что в листьях тритикале длинностебельного сорта Ульяна исходное содержание лектинов по сравнению с короткостебельным Бого в 1,3 раза выше. Таким образом,

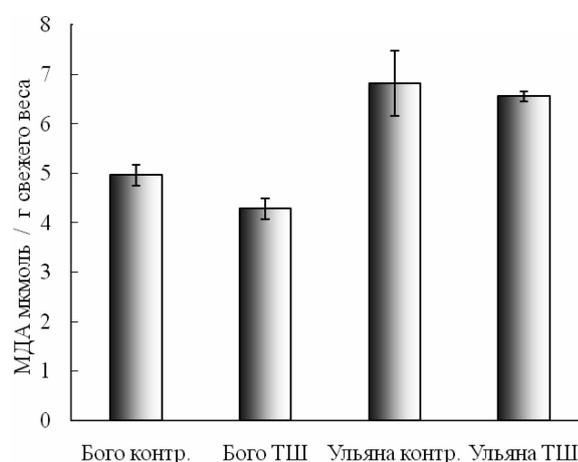


Рис. 3. Влияние ТШ на ПОЛ в зеленых проростках гексаплоидного тритикале сортов Бого и Ульяна, различающихся эндогенным содержанием АБК

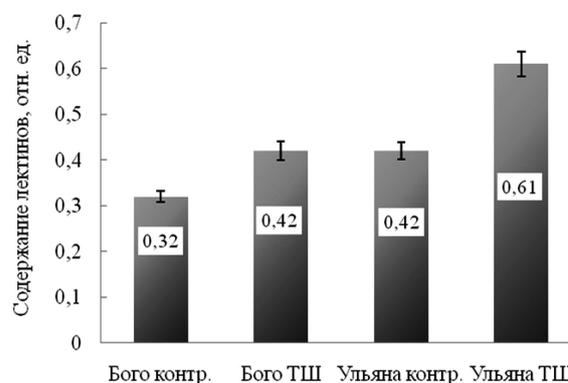


Рис. 4. Влияние ТШ на содержание лектинов в двух сортах тритикале, отличающихся эндогенным содержанием АБК

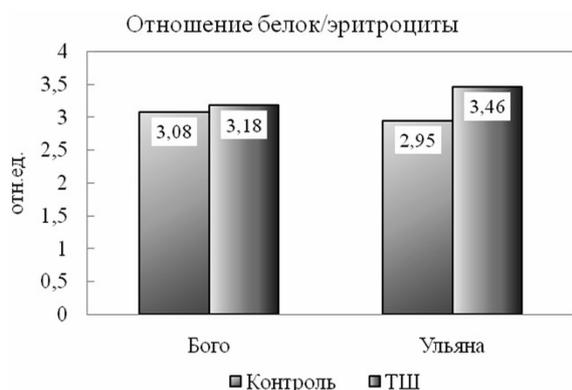


Рис. 5. Активность лектинов в зеленых проростках короткостебельного сорта тритикале Бого и длинностебельного сорта Ульяна в норме и в условиях ТШ

влияния гипертермии существенно повышался уровень АБК, которая, как известно, индуцирует экспрессию гена АЗП [7]. По-видимому, увеличение уровня АБК может служить сигналом для усиления синтеза лектинов в проростках тритикале. Выявленная нами значительная индукция синтеза лектина при ТШ позволяет предположить его участие в формировании защитных механизмов клеток в условиях гипертермии.

На рис. 5 представлены данные, отражающие лектиновую активность (ЛА) в ткани листьев двух сортов тритикале в норме и после ТШ. Показано, что при нормальной температуре проростки исследуемых сортов Бого и Ульяна практически не различались по уровню ЛА в листовой ткани. После нагревания проростков выявились сортоспецифические отличия гемагглютинирующей активности лектинов у разных сортов тритикале. ЛА у растений короткостебельного сорта Бого практически не изменялось в условиях гипертермии, тогда как в проростках длинностебельного сорта Ульяна – увеличивалась в среднем на 17 %. Можно предположить, что процессы метаболической адаптации растений сорта Ульяна к ТШ сопряжены не только с синтезом дополнительных защитных белков лектинов, но с повышением их активности, тогда как растения, имеющие более высокий уровень защитного гормона АБК, способны сохранять свой гомеостаз в условиях стресса без усиления активности этих защитных белков.

Заключение. Сравнительное исследование двух сортов ярового гексаплоидного тритикале показало, что 7-дневные проростки короткостебельного сорта отличались от длинностебельного более высоким эндогенным уровнем абсцизовой кислоты, уменьшенным размером первого листа проростков. Изученные сорта не отличались по содержанию хлорофилла и структурному составу интегральных компонентов фотосинтетических мембран, но короткостебельный сорт Бого характеризовался более низким содержанием антоцианов, каротиноидов, защитных белков лектинов и ТБК-продуктов в ткани зеленого листа.

При воздействии гипертермии общей ответной реакцией зеленых проростков двух сортов тритикале на фоне неизменного содержания хлорофилловых пигментов являются структурные перестройки в фотосинтетическом аппарате, выражающиеся в изменении стехиометрического соотношения ПБК ФС 1 и ФС 2 мембран хлоропластов. Для обоих сортов тритикале характерна низкая активность деструктивных процессов в липидном матриксе клеточных мембран в условиях ТШ, о чем свидетельствует некоторое снижение содержания МДА конечных продуктов ПОЛ, что в свою очередь может быть обусловлено высокой активностью антиоксидантной защиты. В пользу этого предположения свидетельствует способность растений тритикале, особенно сорта Ульяна, в процессе адаптации к повышенной температуре интенсивно накапливать каротиноиды, обладающие выраженными антиоксидантными свойствами. Отличительными особенностями ответной реакции проростков двух разных сортов тритикале в условиях ТШ является более высокий уровень накопления стрессового гормона АБК и участвующих в формировании неспецифических защитных реакций лектинов. При этом в тканях листа длинностебельного сорта Ульяна обнаружено сортоспецифичное повышение активности лектинов, индуцирующих повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды.

сортоспецифические особенности исследуемых сортов тритикале выражаются не только в эндогенном содержании АБК, но и в количестве защитных белков лектинов. Результаты исследования влияния высокой температуры на содержание лектинов в листьях тритикале, контрастных по эндогенному уровню АБК, показали повышение их уровня в обоих сортах тритикале, при этом величина изменения зависит от исходного уровня гормона в листьях исследуемых сортов. У растений тритикале сорта Ульяна с пониженным уровнем АБК содержание лектинов после гипертермии растет более существенно (45 %), тогда как у Бого прирост составляет 30 % (рис. 4). Как было показано ранее, именно у сорта Бого в условиях гипертермии существенно повышался уровень АБК, которая, как известно, индуцирует экспрессию гена АЗП [7]. По-видимому, увеличение уровня АБК может служить сигналом для усиления синтеза лектинов в проростках тритикале. Выявленная нами значительная индукция синтеза лектина при ТШ позволяет предположить его участие в формировании защитных механизмов клеток в условиях гипертермии.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что у растений тритикале с низким уровнем АБК, в частности сорта Ульяна, протекание защитных реакций при гипертермии связано с дополнительным синтезом низкомолекулярных антиоксидантов каротиноидов, стрессового гормона АБК и лектинов, повышающих стрессоустойчивость растений. Кроме этого, одним из обязательных составляющих механизма защиты для сорта Ульяна является повышение лектиновой активности при тепловом стрессе.

Литература

1. Александров В. Я., Кислюк И. М. // Цитология. 1994. Т. 36, № 1. Р. 5–58.
2. Carpentier R. // Effect of high-temperature stress on the photosynthetic apparatus // Handbook of plant and crop stress // Ed. By M. Pessarakli, New York, 1999. P. 337–348.
3. Барабой В. А. // Успехи совр. биологии. 1991. Т. 111. С. 923–932.
4. Gill S. S., Tuteja N. // Plant Physiol. Biochem. 2010. Vol. 48. P. 909–930.
5. Шакирова Ф. М., Безрукова М. В. // Журн. общей биологии. 2007. Т. 68. С. 98–114.
6. Сытников Д. М., Коць С. Я. // Физиол. биохим. культ. раст. 2009. Т. 41, № 4. С. 279–296.
7. Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция // Уфа, 2001.
8. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев, 2010.
9. Шлык А. А. Биохимические методы в физиологии растений. М., 1971. Р. 154–170.
10. Lowry O. H., Rosenbrough N. G., Farr A. L., Randall R. I. // J. Biol. Chem. Vol. 193, N 2. P. 215–275.
11. Stocker J. W., Malavasi F., Trucco M. M. // The determination of hybridomas products with enzyme-immunoassay. М. 1983. P. 329–338.
12. Кудоярова Г. Р., Веселов С. Ю., Каравайко Н. Н. и др. // Физиол. раст. 1990. Т. 37. Р. 193–199.
13. Demmig-Adams B. // Biochim. Biophys. Acta. 1990. Vol. 1020, N 1. P. 1–24.
14. Seo M., Koshiba T. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants // TTRENDS in Plant Science. 2002. Vol. 7, N 1. P. 41–48.
15. Andersson B., Barber J. Mechanisms of photodamage and protein degradation during photoinhibition of Photosystem II. Dordrecht. 1996. P. 101–121.
16. Foyer C. N., Noctor G. // Plant Cell. 2005. Vol. 17. P. 1866–1875.

L. M. ABRAMCHIK, E. V. SERDIUCHENKO, V. N. MAKAROV, L. A. ZENEVICH,
N. B. ZAVORONKOVA, L. F. KABASCHNIKOVA

VARIETY SPECIFIC FEATURES OF PLANT RESPONSE OF SPRING HEXAPLOID TRITICALE TO THE HEAT SHOCK

Summary

Impact of high temperatures on structural and functional parameters of the photosynthetic apparatus, level of membrane lipid peroxidation products as well as content and activity of protective substances (lectins) in green seedlings of two varieties of hexaploid triticale with different endogenous abscisic acid levels are examined.

Triticale plants with low ABA levels are shown to require additional synthesis of low molecular weight antioxidants (carotenoids), stress hormone ABA and lectins increasing plant stress tolerance, which is necessary for forming defense mechanisms of resistance to high temperatures. Moreover, the increase in lectin activity during hyperthermia is one of mandatory components of variety Ulyana protective mechanism.