

Использование защитно-стимулирующих составов для повышения засухоустойчивости и продуктивности яровой и озимой пшеницы

А.А. Деревинская

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка»

Для повышения засухоустойчивости растений яровой и озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь рекомендован новый технологический прием – предпосевная обработка семян защитно-стимулирующими составами на основе сополимера акриламида с акрилатом натрия и препарата Сейбит П.

Цель работы – физиологическое обоснование способов повышения засухоустойчивости растений пшеницы путем предпосевной обработки семян защитно-стимулирующими составами.

Материал и методы. *Материалом исследования являлись семена, проростки, отдельные органы и растения яровой и озимой пшеницы. Предмет исследования: физиолого-биохимические характеристики прорастающих семян, анатомо-морфологические и физиолого-биохимические характеристики проростков, отдельных вегетативных органов и целых растений, включая фотосинтетический аппарат, рост и зерновую продуктивность.*

Для обработки результатов использовались лабораторные, полевые, вегетационные, физиолого-биохимические, статистические методы исследований.

Результаты и их обсуждение. *Определены наиболее эффективные защитно-стимулирующие составы для предпосевной обработки семян на основе полимеров, стимулирующие процессы роста и развития растений яровой и озимой пшеницы и способствующие повышению зерновой продуктивности как при искусственной засухе, так и в полевых условиях. Установлены основные закономерности антистрессового действия комплексных препаратов на основе сополимера акриламида с акрилатом натрия и препарата Сейбит П в условиях водного дефицита на морфо-анатомическую структуру и физиолого-биохимические характеристики пшеницы на основных этапах онтогенеза растений. Определены наиболее стрессочувствительные показатели, характеризующие засухоустойчивость растений пшеницы на начальных этапах онтогенеза: количество и размеры клеток мезофилла листьев и устьиц, количество фотосинтетических пигментов, параметры флуоресценции Хл, активность амилаз, активность перекисного окисления липидов.*

Заключение. *Разработаны новые модифицированные защитно-стимулирующие составы для обработки семян яровой и озимой пшеницы, обеспечивающие получение прибавки урожая зерна по сравнению со стандартной технологией возделывания.*

Ключевые слова: *пшеница яровая и озимая, рост, фотосинтетический аппарат, водный дефицит, засухоустойчивость, обработка семян, защитно-стимулирующие составы, продуктивность.*

Use of Protective and Stimulating Compounds to Improve Drought Resistance and Productivity of Spring and Winter Wheat

A.A. Derevinskaya

Educational Establishment «Belarusian State Pedagogical M. Tank University»

In order to improve drought resistance of spring and winter wheat in the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus a new technological method is recommended. It is presowing seed protective and stimulating compositions based on a copolymer of acrylamide with sodium acrylate and Seibit P substance.

The aim of the work is physiological substantiation of ways to improve the drought tolerance of wheat plants by pre-sowing treatment of seeds with protective and stimulating compounds.

Material and methods. *The object of the study was seeds, seedlings, individual organs and plants of spring and winter wheat. The subject of the research was physiological and biochemical characteristics of germinating seeds, anatomical and morphological, physiological and biochemical characteristics of seedling of individual vegetative organs and whole plants, including the photosynthetic apparatus, grain growth and productivity.*

The research methods are laboratory, field, vegetation, biochemical, statistic methods.

Findings and their discussion. *The most effective protective and stimulating compounds for pre-seed treatment based on polymers are identified that promote the growth and development of plants of spring and winter wheat grain also improves productivity both in the conditions of artificial drought, and in the field. The basic laws of the anti-stress complex products based on a copolymer of acrylamide with sodium acrylate and Seibit P preparation under conditions of water shortage in the morphological*

and anatomical structure, physiological and biochemical characteristics of wheat at key stages of plant ontogenesis. Most stress sensitive indicators of drought resistance of wheat plants in the early stages of ontogenesis are singled out: the number and size of mesophyll cells and stomata of leaves, the number of photosynthetic pigments, Chl fluorescence parameters, the activity of amylase, the activity of lipid peroxidation.

Conclusion. Novel modified protective and stimulating compositions for the treatment of seeds spring and winter wheat are identified, to ensure grain yield increase compared to the standard technology of cultivation.

Key words: winter and spring wheat, growth, photosynthetic apparatus, water deficit, resistance, treatment of seed, protective and stimulating preparations, productivity.

Зерновые культуры, в том числе пшеница, составляют основную часть питания населения в самых разных регионах мира. Широкое распространение зерновых культур обусловлено их генетическим разнообразием и способностью выращивания в различных почвенно-климатических условиях. По оценкам многих исследователей, потери урожая сельскохозяйственных культур от неблагоприятных факторов окружающей среды достигают до 50% их генетически обусловленной продуктивности [1]. Растения подвержены комплексному воздействию различных экологических и биогенных факторов. Природные факторы, прежде всего температура и доступность влаги, определяют границы возделывания ценных сельскохозяйственных культур. Особого внимания заслуживает неустойчивый климат Республики Беларусь, для которого характерны резкие смены погодных условий, усугубляющиеся в последние годы засушливыми периодами, а возделываемые сельскохозяйственные культуры трудно приспосабливаются к подобным колебаниям климата [2–3].

Интерес к проблеме водного дефицита обусловлен, прежде всего, ее значимостью в растениеводстве, терпящем значительные потери урожая из-за засухи. Сохранение жизнеспособности растений при действии неблагоприятных факторов окружающей среды обеспечивается целым комплексом адаптивных реакций, задача которых – поддержание гомеостаза внутренней среды организма. Одним из перспективных направлений исследований является изучение метаболических процессов в условиях водного дефицита, в том числе под воздействием экзогенных химических соединений. Использование защитно-стимулирующих составов позволит реализовать потенциальные возможности растений, повысить их продуктивность и устойчивость к неблагоприятным факторам среды. Изучение механизмов устойчивости и адаптивных реакций растений в условиях водного дефицита дает возможность разработать эффективные способы защиты сельскохозяйственных культур от стресса и в некоторой степени преодолеть климатические ограничения их выращивания.

В нашей республике разработаны и эффективно используются защитно-стимулирующие

составы (ЗСС), содержащие пленкообразователи, регуляторы роста, микроэлементы и протравители [4–9]. Применение комплексных составов для предпосевной обработки семян позволяет направленно влиять на формирование морфотипа растений, создавать устойчивые агрофитоценозы к комплексу абиотических и биотических факторов внешней среды и контролировать продукционный процесс растений.

Исследование проблемы повышения засухоустойчивости на ранних этапах онтогенеза и регуляции продукционного процесса растений пшеницы отличается новизной, так как модифицированные препараты на основе сополимера акриламида с акрилатом натрия и препарата Сейбит в ЗСС для предпосевной обработки семян ранее в нашей республике и за рубежом не использовались. Недостаточно изучена эффективность воздействия компонентов, входящих в состав данных препаратов, на адаптационные процессы, происходящие в условиях водного дефицита, а также на продукционный процесс и урожайность пшеницы в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь. Также следует отметить доступность практической реализации используемых приемов предпосевной обработки семян. Применение в составе ЗСС высокоэффективных пленкообразователей позволяет снизить потери импортируемых в страну химических препаратов для обработки семян, способствует снижению пестицидной нагрузки, использование регулятора роста природного происхождения (гидрогумат торфа) повышает экологическую безопасность пленкообразующих составов.

Цель исследования – физиолого-биохимическое обоснование способов повышения засухоустойчивости растений пшеницы путем предпосевной обработки семян защитно-стимулирующими составами.

В соответствии с этим были поставлены следующие научные задачи: изучить особенности процессов роста, развития и продуктивности растений пшеницы после обработки семян ЗСС; исследовать влияние ЗСС на формирование и функционирование фотосинтетического аппарата растений пшеницы; выявить адаптивные изменения

морфо-анатомических и физиолого-биохимических характеристик растений пшеницы в результате применения ЗСС и определить стрессочувствительные показатели для использования в сельскохозяйственном производстве; выявить наиболее эффективные комплексные ЗСС для предпосевной обработки семян пшеницы; разработать технологические приемы предпосевной обработки семян с целью повышения засухоустойчивости и продуктивности растений пшеницы в посевах.

Материал и методы. Работа выполнена в лаборатории прикладной биофизики и биохимии ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», на кафедре ботаники и основ сельского хозяйства БГПУ им. М. Танка.

Объектом исследования являлись семена, проростки, отдельные органы и растения яровой пшеницы сорта Ростань и озимой пшеницы сорта Каравай, а предметом – физиолого-биохимические характеристики прорастающих семян, анатомо-морфологические и физиолого-биохимические характеристики проростков, отдельных вегетативных органов и целых растений, включая фотосинтетический аппарат, рост и зерновую продуктивность.

Вегетационные, лабораторные и полевые опыты проводились в лаборатории прикладной биофизики и биохимии ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», на кафедре ботаники и основ сельского хозяйства УО «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка», на экспериментальной базе «Жодино» РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию».

В качестве ЗСС использовались стандартный препарат Сейбит П и его модификации с добавлением регулятора роста кремний-органической природы (БИРР) и микроэлементов; препарат на основе сополимера акриламида с акрилатом натрия и добавления определенных микроэлементов: ЗСС 2 (препарат на основе модифицированного сополимера акриламида с акрилатом натрия и добавления регулятора роста гидрогумата), ЗСС 7 (препарат на основе модифицированного сополимера акриламида с акрилатом натрия, добавления микроэлементов в хелатной форме (цинк, марганец, медь, железо) и регулятора роста гидрогумата). Для защиты от болезней вносили фунгицид раксил в стандартной дозе 1,5 кг/т семян или байтан-универсал – 2 кг/т семян.

Зеленые проростки выращивали при 16-часовом фотопериоде, интенсивности поли-

хроматического света 120 мкмоль квантов $m^{-2}s^{-1}$ (лампы ЛБ-40) и температуре 22/20°C день/ночь на водопроводной воде. Этиолированные растения выращивали в темноте при постоянной температуре 23°C. Водный дефицит создавался погружением корневой системы 4-дневных проростков в 3% раствор полиэтиленгликоля (ПЭГ 6000, Sigma) при осмотическом потенциале – 0,28 МПа.

В условиях вегетационного опыта растения выращивали до стадии выхода в трубку при нормальном поливе, затем весовым методом производили полив в соответствии со схемой опыта: в контроле – 60% и в опыте – 30% от полной влагоемкости почвы до стадии колошения.

Рост и развитие проростков в лабораторных условиях оценивали по параметрам первого листа и корневой системы [Кабашникова, 2003]. Сырую и сухую биомассу, содержание сухого вещества, относительное содержание воды, водный дефицит в проростках определяли по [Campos, 1999]. Анатомические особенности строения листа оценивали с использованием светового микроскопа МВИ-11 [Мокроносов, Борзенкова, 1978]. Линейные параметры устьиц определяли методом отпечатков [Викторов, 1991]. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) выявляли по Ничипоровичу [1961]. Продуктивность растений оценивали по структуре урожая [Доспехов, 1979].

Содержание хлорофилловых пигментов определяли спектрофотометрическим методом по Шлыку [1971] с использованием спектрофотометра «Uvikon 931» (Германия). Спектры флуоресценции листьев регистрировали при комнатной температуре (+22°C) на спектрофлуориметре «СОЛАР-LSF 222» (Беларусь) по методу Ладыгина [2005] и при низкой температуре (-196°C) по методу Доманского и др. [1986]. Флуоресцентные параметры фотосистемы 2 (ФС2) измеряли на флуориметре Teaching-PAM (Walz, Германия) [Корнеев, 2002; Кабашникова и др., 2007].

Содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) тестировали по накоплению малонового диальдегида (МДА) [De Vos et al., 1989]. Ацидофицирующую активность корней определяли по скорости подкисления инкубационной среды корневой системой проростков [Кабашникова, 2003]. Проницаемость мембран регистрировали по выходу свободных нуклеотидов из клеток на спектрофотометре «Uvikon 931» (Германия) при 260 нм [Кожушко, 1988]. Определение суммарной активности амилаз проводилось согласно методике, предложенной Третьяковым [1990].

Статистическая обработка данных определялась с использованием пакетов программ Excel и Statistica 6.0. Оценка достоверности результатов проводилась по Доспехову [1985].

Результаты и их обсуждение. К основным показателям качества семян относятся их энергия прорастания и всхожесть. Предпосевная обработка семян модифицированными ЗСС на основе препарата Сейбит П и сополимера акриламида с акрилатом натрия оказывала стимулирующее влияние на скорость прорастания семян как озимой, так и яровой пшеницы, причем эффективность препаратов сохранялась в течение одного месяца после хранения обработанных семян.

В процессе прорастания семян определена активность амилаз: в условиях нормального водоснабжения активность амилаз в прорастающих семенах пшеницы во всех вариантах опыта не изменялась. При недостаточном водоснабжении ЗСС способствовали повышению активности изученных ферментов (табл. 1), что позволило использовать данный показатель в качестве биохимического теста при анализе эффективности действия ЗСС в условиях водного дефицита.

Предпосевная обработка семян модифицированными ЗСС (Сейбит П+БИРР, Сейбит П+Fe, ЗСС 2) в условиях водного дефицита способствовала увеличению ростовых показателей, накоплению сырой и сухой биомассы первого листа и корней проростков, удельной поверхностной плотности листа.

Важным условием обеспечения потенциала зерновой продуктивности является период интенсивного роста, поэтому формирование у растений на ранних этапах онтогенеза структуры, близкой к ксероморфной, позволяет снизить влияние засухи на их продуктивность. Оценка параметров мезоструктурной организации мезофилла первого листа проростков пшеницы показала, что предпосевная обработка семян в условиях водного дефицита способствовала развитию од-

ного из признаков ксероморфной структуры мезофилла листа – мелкоклеточности. При использовании ЗСС наблюдалось увеличение количества клеток мезофилла в расчете на единицу площади первого листа на 39–46% за счет уменьшения их размеров по сравнению с контролем, находящимся в условиях нормального водоснабжения.

Степень оводненности листьев растений является показателем их водного режима. Изучение влияния ЗСС на параметры водного обмена листьев проростков яровой и озимой пшеницы свидетельствовало, что составы Сейбит П+БИРР+Fe и Сейбит П+Fe способствовали сохранению водного потенциала отрезков листьев яровой пшеницы в условиях водного дефицита, для проростков озимой пшеницы данный эффект был менее выражен. Ацидофицирующая активность корней является интегральным показателем уровня энергетического и ионного метаболизма растений.

Предпосевная обработка семян вызывала активацию протонных насосов корней, увеличивая концентрацию ионов водорода при инкубации корней проростков пшеницы, выращенных в условиях нормального водоснабжения. В условиях водного дефицита активность мембранных H^+ -АТФаз, оцененная по общей концентрации ионов водорода в растворе, была в 2 раза выше при использовании препарата ЗСС 7 и в 2,2 раза выше при обработке семян препаратом Сейбит П+БИРР+Fe по сравнению с контролем. Расчет удельной концентрации протонов водорода выявил повышение скорости их выхода во внешнюю среду под влиянием ЗСС (табл. 2).

Функциональная активность клеточных мембран была оценена по степени выхода в окружающую среду низкомолекулярных метаболитов.

Таблица 1

Влияние предпосевной обработки семян на активность амилаз в прорастающих семенах яровой пшеницы

Вариант опыта	Активность амилаз (в 1 мг крахмала за 1 ч на 1 мл раствора)			
	Нормальное водоснабжение	% к контролю	Замачивание–высушивание	% к контролю
Контроль	0,6340±0,013	100	0,6450±0,002	100
ЗСС 7	0,6320±0,005	100	0,7337±0,006	114
Сейбит П	0,6340±0,003	100	0,8413±0,005	130
Сейбит П+БИРР+Fe	0,6270±0,002	99	0,7830±0,037	121

Таблица 2

Влияние предпосевной обработки семян на активность протонных насосов корней 7-дневных проростков яровой пшеницы в условиях нормального водоснабжения и водного дефицита

Вариант опыта	pH	[H ⁺] мкМ	% к контролю	[H ⁺] мкМ / г сырой массы корней	% к контролю
Нормальное водоснабжение					
Контроль	6,49±0,07	0,32	100	0,23	100
ЗСС 7	6,36±0,06	0,44	137	0,30	130
Сейбит П	6,29±0,07	0,51	159	0,39	169
Сейбит П+БИРР+Fe	6,19±0,15	0,65	203	0,56	243
Замачивание–высушивание					
Контроль	6,48±0,06	0,33	100	0,31	100
ЗСС 7	6,16±0,04	0,69	209	0,62	200
Сейбит П	6,31±0,04	0,50	151	0,53	170
Сейбит П+БИРР+Fe	6,14±0,06	0,72	218	0,84	271

Таблица 3

Влияние предпосевной обработки семян на выход в окружающую среду компонентов нуклеотидного обмена из 7-дневных проростков яровой пшеницы в условиях нормального водоснабжения и при водном дефиците

Вариант опыта	Листья				Корни			
	T, +20°C		T, +50°C		T, +20°C		T, +50°C	
	D ₂₆₀ , опт. ед.	%	D ₂₆₀ , опт. ед.	%	D ₂₆₀ , опт. ед.	%	D ₂₆₀ , опт. ед.	%
Нормальное водоснабжение								
Контроль	0,21±0,02	100,0	1,39±0,08	100,0	0,15±0,03	100,0	3,09±0,17	100,0
ЗСС 7	0,31±0,04	145,9	0,99±0,36	71,2	0,28±0,01	185,4	2,00±0,10	64,8
Сейбит П	0,31±0,02	149,5	0,91±0,12	65,1	0,50±0,06	324,4	1,93±0,37	62,3
Сейбит П+БИРР+Fe	0,39±0,03	184,3	0,83±0,12	59,7	0,54±0,07	353,5	0,79±0,12	25,5
Водный дефицит								
Контроль	0,39±0,07	100,0	0,86±0,12	100,0	0,18±0,04	100,0	1,02±0,20	100,0
ЗСС 7	0,46±0,11	117,2	0,61±0,11	70,7	0,35±0,03	188,7	0,51±0,03	50,3
Сейбит П	0,23±0,06	59,5	0,56±0,11	65,0	0,32±0,08	172,8	0,91±0,15	89,1
Сейбит П+БИРР+Fe	0,26±0,09	64,9	0,59±0,05	68,9	0,41±0,04	222,5	0,89±0,31	87,5

Установлено, что в нормальных условиях водоснабжения происходило увеличение выхода компонентов нуклеотидного обмена из клеток листьев и корней проростков пшеницы при комнатной температуре, при повышенной температуре наблюдался стабилизирующий эффект изученных препаратов на плазматические мембраны клеток листьев и корней, который проявлялся и в условиях действия водного дефицита (табл. 3).

Эффективность функционирования фотосинтетического аппарата растений во многом определяется количеством, состоянием и активно-

стью фотосинтетических пигментов. Показано, что в условиях водного дефицита стимулирующее влияние на накопление фотосинтетических пигментов в проростках яровой и озимой пшеницы оказывали препараты ЗСС 2, ЗСС 7, Сейбит П+БИРР+Fe, Сейбит П+Fe, которые также способствовали повышению чистой продуктивности фотосинтеза. Структурное состояние внутрипластидных мембран проростков пшеницы оценено по параметрам РАМ-флуориметрии. Обезвоживание не вызывало существенных изменений процессов светосбора и передачи энергии в реакционные центры (РЦ), а также фото-

химической активности ФС 2 в зеленых проростках пшеницы.

Удобным объектом для изучения влияния стрессовых факторов на уровне пластид являются листья этиолированных проростков злаков. Структурную перестройку системы внутренних мембран этиопластов изучали с помощью низкотемпературных спектров флуоресценции при температуре жидкого азота по изменению соотношения фотоактивной и нефотоактивной форм протохлорофиллида (Пд). При нормальном водоснабжении предпосевная обработка семян стандартным фунгицидом раксил вызывала снижение величины соотношения форм Пд (I Пд 658/I Пд 638), ЗСС 7 способствовал увеличению интенсивности флуоресценции фотоактивной формы Пд 658. При обезвоживании обнаружено снижение величины соотношения спектральных форм Пд по сравнению с нормальными условиями выращивания растений во всех вариантах опыта, что свидетельствует о дезагрегации активного пигмент-белкового комплекса Пд-НАДФН⁺-оксидоредуктазы в этиолированных листьях проростков пшеницы. Использование препаратов Сейбит П и ЗСС 7 способствовало сохранению фотоактивной структуры внутрипластидных мембран этиопластов. Таким образом, прижизненная регистрация интенсивности флуоресценции форм Пд при низкой температуре может быть применена для характеристики перехода растения в стрессовое состояние и оценки физиологической активности ЗСС.

В спектрах флуоресценции зеленых листьев проростков пшеницы при комнатной температуре присутствовали два пика с максимумами в

области 680 и 740 нм, которые характеризуют структурно-функциональное состояние Хл РЦ ФС2 и Хл РЦ ФС1, соответственно. В контрольных растениях величина соотношения спектральных форм Хл (I 685/I 740) в норме и при обезвоживании составляла 1,56 и 1,31, соответственно; в вариантах опыта с использованием ЗСС 7 – 1,36 и 1,24, Сейбит П – 1,41 и 1,26, при использовании стандартной технологии возделывания – 1,40 и 1,25. Проведенные исследования показали четко выраженную тенденцию к снижению соотношения флуоресценции Хл РЦ двух фотосистем фотосинтеза в условиях водного дефицита.

Засухоустойчивость сельскохозяйственных растений связана с их морфо-анатомическими и физиологическими особенностями, позволяющими переносить временное обезвоживание с наименьшим снижением ростовых процессов и урожайности.

В вегетационных опытах в условиях почвенной засухи проведен анализ морфоструктуры растений яровой пшеницы на основных этапах вегетации. Установлено, что на стадии выхода в трубку в вариантах опыта с использованием ЗСС 2, ЗСС 7 и Сейбит П растения по высоте превосходили контроль на 8–12%.

При определении параметров четвертого листа установлено, что наиболее выраженный эффект на его развитие оказывали составы ЗСС 7 и Сейбит П+БИРР. Площадь четвертого листа в этих вариантах опыта превышала контроль на 17% и 30%, сырая масса – на 20% и 36%, а сухая масса – на 9% и 26%, соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Влияние предпосевной обработки семян на морфоструктуру растений яровой пшеницы в условиях почвенной засухи

Варианты опыта	Высота растения, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см ²	Сырая масса листа, мг	Сухая масса листа, мг	
Базовый вариант (раксил, норма)	50,8±1,7	35±0,5	0,64±0,03	14,34	250	53,7	
Базовый вариант (раксил)	Почвенная засуха	53,3±0,8	34,8±0,8	0,68±0,03	15,14	260	61,98
ЗСС 2		56,6±1,1	35,7±1,8	0,65±0,05	14,85	270	52,11
ЗСС 7		55,1±1,5	36,4±1	0,72±0,03	16,77	300	59
Сейбит П+БИРР		57,3±0,7	39,8±0,6	0,73±0,03	18,59	340	67,83
Сейбит П+Fe		52,8±2	35,9±0,6	0,58±0,02	13,33	270	51,68
Сейбит П+БИРР+Fe		56,4±1,1	37,2±1,2	0,6±0,03	14,28	270	53,06

На стадии цветения наблюдалось отставание в росте растений, подвергнутых засухе. Это выразилось в снижении количества зеленых листьев и повышении относительного количества желтых и сухих листьев в расчете на одно растение, была снижена масса растения. Защитное действие на данные показатели оказывали составы ЗСС 2 и Сейбит П+БИРР+Fe.

Изучение анатомической структуры листьев растений в условиях почвенной засухи показало, что ЗСС способствовали развитию некоторых признаков ксероморфной структуры: мелкоклеточности, увеличению количества устьиц и уменьшению их размеров. Таким образом, стрессочувствительными показателями анатомической структуры листа, изменяющимися при засухе, являются количество и размеры клеток мезофилла, а также количество и размеры устьиц эпидермиса листьев.

При неблагоприятных условиях в растении происходит генерация активных форм кислорода, одним из показателей образования которых является усиление перекисного окисления мембранных липидов (ПОЛ). Отмечено, что составы ЗСС 7 и Сейбит П, содержащих препарат БИРР и железо, обеспечивали минимизацию процессов ПОЛ в условиях засухи, снижая степень окислительных повреждений до уровня контроля. Изменение данного показателя на начальных стадиях обезвоживания растений позволяет использовать его в качестве диагностического при почвенной засухе.

Исследование динамики содержания фотосинтетических пигментов в условиях почвенной засухи показало, что суммарное содержание Хл и каротиноидов в расчете на единицу сырой биомассы листа яровой пшеницы в процессе вегетации было снижено по сравнению с контролем. Использование ЗСС 2, Сейбит П+БИРР, Сейбит П+Fe оказывало защитное влияние на накопление фотосинтетических пигментов в условиях почвенной засухи. Проведенный анализ параметров РАМ-флуориметрии листа свидетельствовал об отсутствии нарушений процесса светосбора и передачи световой энергии в РЦ ФС 2 листьев пшеницы в условиях почвенной засухи. К стрессочувствительным параметрам индукции флуоресценции Хл *a* относятся эффективный квантовый выход фотохимических реакций ФС 2 (Yield) и величина фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (qP), показатель величины нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (qN).

Учет зерновой продуктивности растений яровой пшеницы показал, что длительная почвенная засуха до стадии налива зерна оказывала негативное влияние на формирование урожая зерна, который

снижился в расчете на один сосуд на 50% по сравнению с контролем. В вариантах опыта, где применялись новые ЗСС, потери урожая зерна были менее значительны до 20–30% по сравнению с базовой технологией выращивания в условиях нормального полива. Анализ структуры урожая выявил, что ЗСС 2, ЗСС 7 и Сейбит П+Fe способствовали повышению количества растений в расчете на один сосуд, увеличению урожая зерна одного растения, массы зерна одного колоса и массы тысячи зерен.

В полевых опытах было продемонстрировано, что новые ЗСС оказывали стимулирующее влияние на рост и развитие растений озимой и яровой пшеницы на ранних стадиях вегетации, вызывая усиление ростовых процессов и повышение сырой биомассы стеблей и листьев в расчете на одно растение. На более поздних этапах онтогенеза стартовый эффект способствовал повышению продуктивной кустистости и устойчивости растений в посевах.

Анализ влияния ЗСС на водный обмен в листьях пшеницы в процессе вегетации показал, что в период кущения у растений озимой пшеницы отмечено повышение относительного содержания воды в четвертом листе в среднем на 4–9%, что свидетельствует о благоприятном влиянии ЗСС на процессы водного обмена, наиболее эффективными были составы Сейбит П и Сейбит П+БИРР. ЗСС на основе препарата Сейбит П способствовали снижению уровня ПОЛ в листьях растений яровой пшеницы в процессе вегетации, что отражает их защитное действие на структурно-функциональное состояние плазматических мембран растительных клеток.

В процессе вегетации ЗСС на основе препаратов сополимера акриламида с акрилатом натрия и Сейбит П способствовали повышению содержания фотосинтетических пигментов в расчете на единицу площади листа растений озимой и яровой пшеницы в посевах. В репродуктивный период наблюдалось изменение распределения фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы в пользу стеблей и колосьев, что свидетельствует о их значительном вкладе в общий пигментный фонд растений.

Продуктивность растений является интегральным показателем реализованного генетического материала растений в конкретных условиях выращивания. В полевых исследованиях ЗСС способствовали повышению зерновой продуктивности растений яровой и озимой пшеницы по сравнению с контролем и со стандартной технологией возделывания. Составы ЗСС 7, Сейбит П, Сейбит П+БИРР+Fe повышали урожай зерна яровой пшеницы в 1,7 раза, а составы Сейбит П+БИРР и Сейбит П+Fe в 1,2 раза.

**Коэффициенты корреляции (r) между фотосинтетическими показателями
и зерновой продуктивностью растений яровой и озимой пшеницы**

Вариант опыта	Признак	Яровая пшеница		Озимая пшеница	
		Урожай зерна, г/растение	Урожай зерна, г/м ²	Урожай зерна, г/растение	Урожай зерна, г/м ²
Стадия кущения					
Контроль	Хл (a + b), мкг/см ²	0,32	0,43	0,48	0,60
ЗСС 2		0,46	0,50	0,54	0,71
ЗСС 7		0,39	0,21	0,69	0,37
Сейбит П		0,51	0,60	0,58	0,64
Сейбит П+БИРР		0,51	0,49	0,46	0,51
Сейбит П+Fe		0,43	0,50	0,59	0,49
Сейбит П+БИРР+Fe		0,68	0,54	0,82	0,54
Базовая технология (байтан-универсал)		0,21	0,40	0,50	0,42
Контроль		Хл (a + b), мг/растение	0,52	0,41	0,21
ЗСС 2	0,76		0,55	0,44	0,70
ЗСС 7	0,59		0,60	0,56	0,61
Сейбит П	0,50		0,59	0,42	0,16
Сейбит П+БИРР	0,68		0,45	0,70	0,82
Сейбит П+Fe	0,49		0,51	0,21	0,67
Сейбит П+БИРР+Fe	0,56		0,59	0,80	0,30
Базовая технология (байтан-универсал)	0,41		0,50	0,34	0,52

Примечание: 0,5 < r < 0,7 – корреляция средняя; r > 0,7 – корреляция высокая при уровне значимости ≤ 0,05.

При использовании новых ЗСС получена прибавка урожая зерна озимой пшеницы на 3–12 ц/га в зависимости от варианта опыта по сравнению с контролем и со стандартной технологией возделывания.

Показано наличие корреляционных взаимосвязей (табл. 5) между изученными фотосинтетическими показателями и зерновой продуктивностью растений яровой и озимой пшеницы. Такой параметр, как «содержание хлорофилла в расчете на единицу площади листовой поверхности» для озимой пшеницы, показал тесную взаимосвязь с зерновой продуктивностью одного растения и урожаем зерна в посевах (r = 0,50–0,82). Получены достаточно высокие коэффициенты корреляции между содержанием Хл (a+b) в пересчете на растение и зерновой продуктивностью пшеницы в посевах (r = 0,51–0,82).

Таким образом, использование комплексных ЗСС для обработки семян обеспечило получение прибавки урожая зерна яровой и озимой пшеницы по сравнению со стандартной технологией возделывания. Наличие положительных корреляционных взаимосвязей между показателями, учитывающими содержание Хл и зерновую продуктивность, свидетельствует о тесной взаимо-

связи фотосинтетических показателей с продукционным процессом яровой и озимой пшеницы.

Заключение. На основе полученных результатов нами сформулированы основные закономерности антистрессового действия ЗСС при водном дефиците:

– водный дефицит как стрессовый фактор индуцирует ответную реакцию растений, включающую в себя изменения анатомо-морфологической структуры и физиолого-биохимических характеристик растений;

– обработка семян ЗСС на основе полимеров повышает устойчивость растений пшеницы к действию засухи: способствует повышению активности амилаз в прорастающих семенах; модифицирует функционирование плазматических мембран растительных клеток, изменяя их проницаемость для низкомолекулярных нуклеотидов и повышая активность протонных насосов плазмалеммы клеток корней; стимулирует рост и накопление биомассы растений; обеспечивает снижение степени окислительных повреждений клеточных мембран; повышает содержание фотосинтетических пигментов и чистую продуктивность фотосинтеза; поддерживает активное структурно-функциональное состояние внутри-

пластидных мембран; способствует развитию признаков ксероморфной структуры листьев;

– защитный эффект ЗСС в стрессовых условиях включает в себя поддержание: ростовых процессов, водного обмена листьев, функционирования фотосинтетического аппарата, что в совокупности приводит к снижению потерь урожая растений при почвенной засухе и увеличению зерновой продуктивности в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голанцева, Е.Н. Адаптационные реакции яровой пшеницы при действии эпибрасинолида в условиях засухи: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.00.12 / Е.Н. Голанцева; Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева. – М., 2006. – 26 с.
2. Roitsch, T. Suorce-sink regulation by sugar and stress / T. Roitsch // Current Opinion in Plant Biology. – 1999. – Vol. 2, № 3. – P. 198–206.
3. Логинов, В.Ф. Оценка климатических ресурсов и их изменение под влиянием естественных и антропогенных факторов / В.Ф. Логинов // Наука – народному хозяйству. – Минск, 2002. – Гл. 4. – С. 680–709.
4. Предпосевная обработка семян: методические указания. – Минск: Минсельхозпрод Респ. Беларусь, 1990. – 20 с.
5. Протравливание семян сельскохозяйственных культур пленкообразующими составами и препаратами. – М.: Агропромиздат, 1988. – 46 с.
6. Апашева, Л.М. Применение гидрогелей и их композиций с регуляторами роста для обработки семян зерновых и хвойных пород деревьев / Л.М. Апашева [и др.] // Тез. докл. 2 Всесоюз. совещ., Звенигород, 20–24 окт. 1991 г. – Звенигород, 1991. – С. 43.
7. Каравянский, Н.С. Продолжаем изучение пленкообразователей / Н.С. Каравянский [и др.] // Защита растений. – 1984. – № 1. – С. 33–34.
8. Линг, С.С. Физиологическое обоснование инкрустирования семян ячменя природными биологически активными веществами: автореф. ... дис. канд. биол. наук / С.С. Линг; Ин-т экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича АН Беларуси. – Минск, 1998. – 18 с.

9. Алексейчук, Г.Н. Индуцирование стрессоустойчивости растений ячменя при прорастании семян: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.00.12 / Г.Н. Алексейчук; Ин-т экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича АН Беларуси. – Минск, 1999. – 22 с.

REFERENCES

1. Golantseva E.N. *Adaptatsionniye reaktsii yarovoï pshenitsi pri deistvii epibrassinolida v usloviyakh zasukhi: avtoref. ... dis. kand. biol. nauk* [Adaptation Reactions of Spring Wheat under the Influence of Epybrassinolide in Draught Conditions: PhD (Biology) Dissertation Summary], K.A.Timiriazev Institute of Physiology of Plants, M., 2006, 26 p.
2. Roitsch, T. Suorce-sink regulation by sugar and stress / T. Roitsch // Current Opinion in Plant Biology. – 1999. – Vol. 2, № 3. – P. 198–206.
3. Logynov V.F. *Nauka – narodnomu khoziaistvu* [Science – to Economy], Minsk, 2002, 4, pp. 680–709.
4. *Predposevnaya obrabotka semian: Metodicheskiye ukazaniya* [Pre-sowing Treatment of Seeds: Guidelines], Minsk, Minselkhozprod Respubliki Belarus, 1990, 20 p.
5. *Protravlivaniye semiyan selskokhoziaistvennikh kultur plenkoobrazuyushchimi sostavami i preparatami* [Treatment of Agricultural Culture Seeds with Film Forming Compounds and Chemicals], M., Agropromizdat, 1988, 46 p.
6. Apasheva L.M. *Tezisi doklada 2 Vsesoyuz. soveshch. Zvenigorod, 20–24 okt. 1991 g.* [Reports of the 2nd All Union Meeting, Zvenigorod, October 20–24, 1991], Zvenigorod, 1991, p. 43.
7. Karavianski N.S. *Zashchita rstenii* [Protection of Plants], 1984, 1, pp. 33–34.
8. Ling S.S. *Fiziologicheskoye obosnovaniye inkrustirovaniya semian yachmenia prirodnimi biologicheskimi aktivnimi veshchestvami: avtoref. ... dis. kand. biol. nauk* [Physiological Substantiation of Treatment of Barley Seeds with Natural Biologically Active Substances: PhD (Biology) Dissertation Summary], In-t eksperimentalnoi botaniki im.V.F. Kuprevicha AN Belarusi, Minsk, 1998, 18 p.
9. Alekseichuk G.N. *Indutsirovaniye stressoustoichivosti rastenii yachmenia pri prorstanii semian: avtoref. ... dis. kand. biol. nauk* [Inducing Stress Resistance of Barley Plants while Seed Growing: PhD (Biology) Dissertation Summary], In-t eksperimentalnoi botaniki im.V.F. Kuprevicha AN Belarusi, Minsk, 1999, 22 p.

Поступила в редакцию 16.01.2016

Адрес для корреспонденции: e-mail: derevinskaya.a@mail.ru – Деревинская А.А.