

УСТОЙЧИВОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К ЗАСУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСТЕНИЙ АЗОТОМ, МОЛИБДЕНОМ И ЦИНКОМ

И.В. ВЕРНИЧЕНКО¹, И. ЗАХУРУЛ²

(* Кафедра агрономической, биологической химии и радиологии
РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева,

² Центральный сельскохозяйственный институт Республики Бангладеш)

Изучена засухоустойчивость яровой пшеницы в засимости от различной обеспеченности растений азотом и предпосевной обработки семян молибденом и цинком. Установлено, что потери продуктивности яровой пшеницы от засухи возрастают при повышении уровня азотного питания возделываемых растений. Показано, что снижение урожайности яровой пшеницы, обусловленное дефицитом влаги в самый уязвимый (критический) период для растений, может быть минимизировано не только выбором оптимальной дозы азота, но и обработкой семян перед посевом растворами молибдена и цинка. Изучено влияние факторов на потребление опытными растениями азота, а также на содержание и общий сбор белка зерном пшеницы. Рассмотрены возможные механизмы действия испытанных приемов на повышение устойчивости растений яровой пшеницы к засухам, различающимся по интенсивности.

Ключевые слова: яровая пшеница, засуха, обеспеченность растений азотом, молибденом, цинком.

В последние 10—15 лет, в связи с глобальным потеплением и аридизацией климата на нашей планете, наблюдается стойкая тенденция к учащению в большинстве регионов России неблагоприятных по условиям увлажнения вегетационных периодов. Ярким примером тому служит лето 2009 г., когда в Самарской обл. и ряде других районах России отмечалась довольно жесткая засуха. Еще большее негативное влияние засухи на продуктивность с.-х. культур отмечалось летом 2010 г. При достаточно глубоких и продолжительных водных стрессах нарушения направленности и интенсивности отдельных метаболических процессов в растениях становятся часто необратимыми, что приводит если не к гибели растений, то к значительному снижению их

конечной продуктивности [3, 7, 11, 14]. Иногда даже слабые стрессы, вызванные нарушением водообеспеченности возделываемых культур, если они приходится на отдельные критические периоды развития растений [2, 5, 7, 8], приводят к весьма серьезным негативным последствиям в плане снижения их урожайности и ухудшения качества получаемой продукции. Уменьшение поступления воды в растение при засухе отражается на всех жизненно важных процессах, но наиболее часто ухудшение водообеспеченности растений негативно сказывается на их азотном обмене [3, 7, 8, 9]. Наши исследования [1], проведенные с использованием соединений, меченных изотопом азота ¹⁵N, а также результаты, полученные другими авторами [7, 8, 9, 11],

показали, что улучшение обеспеченности растений рядом микроэлементов положительно влияет на азотное питание растений. В частности, нами было установлено, что применение Mo и Zn способствует увеличению скорости редукции поступивших в растения меченых ^{15}N нитратов, а также повышает степень использования поглощенного аммонийного и нитратного азота на синтез аминокислот и их включение в состав белков. В связи с вышеизложенным нам представлялось достаточно интересным и важным исследовать влияние различной обеспеченности растений яровой пшеницы азотом на их устойчивость к засухе. При этом изучалась также роль применения микроэлементов Mo и Zn в связи с их нормализующим действием на азотный обмен растений как фактора, повышающего их засухоустойчивость.

Методика

Для решения поставленных задач в вегетационном домике кафедры агрономической и биологической химии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева в течение двух лет были проведены опыты с растениями яровой пшеницы сорта Иволга. Растения выращивали в сосудах Вагнера емкостью 5 кг абсолютно сухой почвы. Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы с Полевой станции МСХА были следующие: содержание гумуса — 2,5%, $\text{pH}_{\text{КС1}}$ — 5,8, легкогидролизуемого азота — 62,0 мг/кг, подвижных форм P_2O_5 — 150, K_2O — 172, Mo — 0,06 и Zn — 0,5 мг/кг. Схема опытов включала два уровня обеспеченности азотом — 0,5 и 2,0 г/сосуд на фоне фосфорно-калийных удобрений в дозе по 2 г/сосуд. Молибден и цинк применяли в виде предпосевной обработки семян растворами молибденовокислого натрия и сульфата цинка из расчета соответственно 10 и 15 г на 100 кг семян, контроль обрабатывали водой.

Для моделирования почвенной засухи в условиях вегетационного опыта в критический для водообеспеченности растений период — с VI этапа органогенеза (выход в трубку) сосуды прекращали поливать соответственно схеме. После достижения влажности почвы коэффициента завядания одни сосуды начинали поливать (засуха 1), а в других, с большим дефицитом воды, полив растений начинали на 3 дня позже (засуха 2). После окончания засухи до полной спелости растений, а у оптимально поливаемых растений в течение всей вегетации, влажность почвы поддерживали на уровне 70% ППВ. Повторность опытов — 4-кратная.

Результаты и их обсуждение

Опыты показали, что любая почвенная засуха в критический период (выход в трубку) резко снижала конечную продуктивность яровой пшеницы, и хотя при достижении влажности почвы уровня устойчивого завядания растения поливали до оптимальной влажности и до конца вегетации они получали достаточное количество воды, однако последствия испытанного ими водного стресса оказались необратимыми (табл. 1).

Потери урожая зерна яровой пшеницы от почвенной засухи существенным образом зависели от ее продолжительности. Более жесткая засуха 2 приводила к значительно большему необратимым повреждениям опытных растений и, как следствие, к более сильному снижению их продуктивности по сравнению с засухой 1, которая была короче всего на 3—4 дня (см. табл. 1). При повышении уровня азотного питания растений до 2,0 г N на сосуд четко отмечалось снижение засухоустойчивости растений яровой пшеницы. Потери урожая зерна от более мягкой засухи 1 при средней обеспеченности растений азотом составили около 2,2–2,8 г/сосуд, или около 20%. С увеличением дозы азо-

Таблица 1

**Влияние микроэлементов и азота на продуктивность растений пшеницы
при различной интенсивности засухи, г/сосуд**

Доза N, г/сосуд	Обра- ботка семян	Оптимальное увлажнение			Водный стресс на VI этапе органогенеза					
		зерно	солома	надземная часть	засуха 1			засуха 2		
					зерно	солома	надземная часть	зерно	солома	надземная часть
<i>Опыт № 1</i>										
0,5*	H ₂ O	13,3	17,6	30,9	11,1	14,4	25,5	2,9	12,1	15,0
	Mo	13,2	15,5	28,7	10,8	15,2	26,0	1,9	17,1	19,0
	Zn	13,7	17,8	31,5	10,6	15,3	25,9	2,0	13,3	15,3
2,0	H ₂ O	12,1	15,9	28,0	2,4	17,1	19,5	0,7	17,3	18,0
	Mo	17,6	28,1	45,7	8,5	28,3	36,8	1,6	17,3	18,9
	Zn	17,6	25,4	43,0	7,9	19,6	27,5	0,7	13,3	14,0
	HCP ₀₅	3,2	4,5		2,1	3,8		0,4	3,5	
<i>Опыт № 2</i>										
0,5	H ₂ O	15,1	12,5	27,6	12,3	10,3	22,6	7,0	17,3	24,3
	Mo	18,1	13,7	31,8	13,6	11,9	25,5	8,1	14,1	22,2
	Zn	17,4	13,0	30,4	14,8	11,6	26,4	9,1	13,5	22,6
2,0	H ₂ O	17,6	24,7	42,3	11,5	20,7	31,2	6,6	18,9	25,5
	Mo	18,2	24,6	42,8	16,0	21,3	37,3	6,0	22,4	32,9
	Zn	19,9	24,8	44,7	16,2	20,7	31,9	8,1	20,9	29,0
	HCP ₀₅	2,7	2,6		1,8	2,3		1,0	2,4	

Примечание. Здесь и в табл. 2 * фон P, K₂.

та существенно уменьшалась засухоустойчивость растений, что способствовало снижению урожая в несколько раз. Так урожай зерна в опыте 1 составил всего 2,4 г/сосуд (см. табл. 1), что в 5 раз ниже по сравнению с оптимальным увлажнением. Аналогичное действие повышения уровня азотного питания на снижение устойчивости растений яровой пшеницы к водному стрессу наблюдалась и при более жесткой засухе 2 (см. табл. 1).

Почвенная засуха в конце VI этапа органогенеза, который является критическим периодом влагообеспеченности по влиянию на продуктивность растений пшеницы, так как у них в это время происходит заложение в копусе нарастающих элементов будущего урожая [8]. В наших опытах дефицит влаги в этот период оказывал особен-

но заметное негативное действие на формирование репродуктивных органов, в результате чего резко снизился урожай зерна. В то же время накопление биомассы вегетативных органов под воздействием засухи, хотя и снижалось, но в значительно меньшей степени, чем урожай зерна (см. табл. 1).

При оптимальных условиях увлажнения в течение всего периода вегетации обработка семян микроэлементами не всегда приводила к достоверному повышению урожая зерна яровой пшеницы, но сказалась на накоплении в растениях общего и белкового азота (табл. 2), что приводило к заметному улучшению качества получаемого зерна и увеличению общего сбора белка. При достаточном увлажнении в большинстве случаев эффективность предпосевного смачивания

Влияние доз молибдена и цинка на содержание в зерне пшеницы азотистых соединений при различной интенсивности засухи

Доза N, г/сосуд	Обра- ботка семян	Оптимальное увлажнение			Водный стресс на VI этапе органогенеза					
		общий N, %	белко- вый N, %	сбор белка, г/сосуд	засуха 1			засуха 2		
					общий N, %	белко- вый N, %	сбор белка, г/сосуд	общий N, %	белко- вый N, %	сбор белка, г/сосуд
<i>Опыт № 1</i>										
0,5*	H ₂ O	1,01	0,91	0,69	1,35	1,20	0,85	1,42	1,26	0,23
	Mo	1,27	1,21	0,91	1,91	1,81	1,11	2,56	2,43	0,28
	Zn	1,47	1,35	0,93	1,39	1,26	0,84	2,27	2,07	0,26
2,0	H ₂ O	2,48	2,26	1,56	4,07	3,87	0,43	3,71	3,34	0,15
	Mo	3,00	2,82	3,10	3,64	3,38	1,70	3,64	3,49	0,33
	Zn	3,00	2,76	3,10	3,92	3,72	1,32	3,83	3,48	0,15
	HCP ₀₅	0,23	0,21		0,32	0,30		0,35	0,32	
<i>Опыт № 2</i>										
0,5	H ₂ O	1,50	1,20	1,03	1,60	1,40	0,98	1,90	1,70	0,68
	Mo	1,60	1,50	1,56	1,70	1,40	1,07	2,10	1,90	0,88
	Zn	2,30	2,10	2,09	2,40	2,20	1,78	3,70	3,50	1,82
2,0	H ₂ O	1,90	1,80	1,81	2,50	2,40	1,58	2,70	2,50	0,94
	Mo	2,40	2,20	2,28	2,50	2,40	2,19	2,60	2,50	0,86
	Zn	3,00	2,60	2,95	2,40	2,00	1,85	3,50	3,30	1,53
	HCP ₀₅	0,41	0,32		0,34	0,21		0,35	0,23	

семян испытанными микроэлементами возрастала на фоне повышенной обеспеченности растений яровой пшеницы азотом, что указывает на их существенную роль в процессах ассимиляции азота.

Более устойчивый положительный эффект на продуктивность яровой пшеницы микроэлементы оказали при дефиците влаги. Обработка семян перед посевом молибденом и цинком способствовала повышению засухоустойчивости растений, что ослабляло повреждающее действие засухи на урожай зерна. Это наблюдалось как на фоне умеренной обеспеченности растений азотом, так и при внесении повышенных доз азотных удобрений (см. табл. 1), в последнем случае защитное действие микроэлементов от засухи было более заметным.

Снижение необратимых нарушений в развитии яровой пшеницы при внесении микроэлементов наблюдалось как при сравнительно мягкой, так и при более жесткой засухе (см. табл. 1). При сравнении положительного действия молибдена и цинка на снижение потерь урожая зерна яровой пшеницы от засухи отмечено их примерно одинаковое влияние на данные показатели.

В связи с тем, что испытанные микроэлементы играют существенную роль в процессах азотного метаболизма растений, мы определяли влияние изучаемых факторов на содержание и размеры накопления азота и белка в зерне пшеницы при искусственном нарушении условий влагообеспеченности (см. табл. 2).

Отмечено, что нарушение условий увлажнения в критический период

**Влияние доз микроэлементов
на водный статус листьев
яровой пшеницы при различной
интенсивности засухи, %**

(вегетационный опыт 2)

Вариант	Ово- днен- ность	Водо- удержи- вающая способ- ность	Прони- цаемость мембран для элек- тролитов
<i>Засуха 1</i>			
N _{0,5} о.с. H ₂ O	65,3	60,5	19,2
N _{0,5} о.с. Mo	64,2	82,2	10,9
N _{0,5} о.с. Zn	66,7	87,3	9,9
N _{2,0} о.с. H ₂ O	65,8	78,3	20,3
N _{2,0} о.с. Mo	66,2	92,5	15,7
N _{2,0} о.с. Zn	67,4	102,5	18,1
HCP ₀₅		8,3	2,0
<i>Засуха 2</i>			
N _{0,5} о.с. H ₂ O	59,9	61,3	25,6
N _{0,5} о.с. Mo	60,8	73,1	24,5
N _{0,5} о.с. Zn	62,2	89,4	18,1
N _{2,0} о.с. H ₂ O	60,4	74,2	31,1
N _{2,0} о.с. Mo	61,7	80,4	34,1
N _{2,0} о.с. Zn	63,4	91,6	20,9
HCP ₀₅		6,0	3,5

(фазу выхода в трубку) существенным образом снижает не только урожай пшеницы, но, несмотря на некоторое повышение содержания белка, и общие абсолютные размеры выноса азота и белка зерном.

В связи с тем, что засуха приходилась на период формирования элементов урожая, неблагоприятная влажность почвы в этот период сказалась прежде всего на накоплении биомассы и формировании белкового комплекса зерна.

Показано, что предпосевная обработка семян молибденом и цинком способствовала не только увеличению массы зерна, но и повышению в нем содержания общего и особенно белкового азота, в результате чего в ряде случаев существенно возрастали абсолютные размеры сбора белка. Влияние испытанных микроэлементов на качество зерна и общий сбор белка проявлялось как при оптимальном увлажнении, так и при его нарушении, причем положительный эффект в условиях засухи возрастал при повышенной обеспеченности яровой пшеницы азотом (см. табл. 2). Например, в вегетационном опыте № 1 сбор белка зерна увеличился под действием микроэлементов при оптимальном увлажнении приблизительно в 2 раза (с 1,56 до 3,10 г/сосуд), а на фоне засухи в значительно большей степени (с 0,43 до 1,32 — 1,70 г/сосуд), т.е. в 3-4 раза.

Чтобы понять механизмы положительного действия микроэлементов на повышение устойчивости растений яровой пшеницы к стрессам, связанным с засухой, мы изучали влияние Mo и Zn на некоторые физиологические показатели листьев растений (табл. 3).

Сохранение проницаемости мембран для электролитов при дефиците воды является существенным тестом на засухоустойчивость растений [8]. Наши исследования показали, что в растениях, выросших из семян обра-

ботанных перед посевом растворами молибдена и цинка, вызванные водным стрессом повреждения мембран были значительно слабее. При засухе 1 с низкой дозой азота (0,5 г/сосуд) — практически в 2 раза (с 19,2 до 9,9-10,9%), а с высокой дозой азота (2,0 г/сосуд) защитное действие микроэлементов на этот показатель составляло около 20-25% (с 20,3 до 15,7-18,1%). При более жесткой почвенной засухе 2 протекторного влияния молибдена на целостность мембран не отмечалось, а при использовании цинка в этих вариантах повреждение мембран уменьшалось примерно на 30% на любом уровне обеспеченности азотом.

При изучении водоудерживающей способности листьев было установлено, что в конце периода засух она составляла в контрольных вариантах

при низкой обеспеченности азотом минимальные величины — около 61%; с повышением уровня обеспеченности азотом водоудерживающая способность листьев растений увеличивалась (см. табл. 3). Предпосевная обработка семян молибденом и цинком вызывала существенное увеличение водоудерживающей способности растений пшеницы при любой почвенной засухе, независимо от уровня обеспеченности растений азотом. Например, этот показатель на минимальной дозе азота при засухе 1 возростал с 60,5 до 82,2-87,3%, при засухе 2 — с 61,3% до 73,1—89,4%. Подобная закономерность наблюдалась и в других вариантах опыта, причем положительное влияние цинка на водоудерживающую способность листьев за-

метно превосходило действие молибдена.

Выводы

1. Обеспеченность растений азотом и микроэлементами во многом определяет устойчивость растений к стрессам, обусловленным дефицитом влаги.

2. При повышенных дозах минеральных азотных удобрений засухоустойчивость растений пшеницы резко снижается.

3. При применении микроэлементов Mo и Zn, благодаря их протекторному действию, снижается ряд негативных последствий засухи на развитие растений, выраженных, в частности, в нарушении их азотного питания, и тем самым увеличивается адаптационный потенциал и засухоустойчивость растений.

Библиографический список

1. *Верниченко И.В.* Ассимиляция различных форм азота растениями и роль микроэлементов: Автореф. докт. дис. М., 2002.
2. *Верниченко И.В., Осипова Л.В., Обуховская Л.В.* Влияние обработки семян микроэлементами на адаптивный потенциал яровой пшеницы // Физиология растений — наука III тысячелетия: Тезисы докл. Международной конференции. М., 1999. Ч. 2.
3. *Генкель П. А.* Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982.
4. *Державин Л.М.* Современное состояние использования удобрений в России // Агрохимия, 1998. № 1. С. 5-12.
5. *Драгавцев В.А., Удовенко Г.В., Щедрина З.А., Степанова А.А.* Проявление важнейших эколого-генетических систем продуктивности у пшеницы при разных условиях водообеспеченности растений // Доклады РАСХН, 1999. № 1. С. 3-5.
6. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
7. *Ниловская Н.Т., Осипова Л.В.* Приемы управления продукционным процессом яровой пшеницы агрохимическими средствами в условиях засухи. М.: ВНИИ А, 2009.
8. *Осипова Л.В.* Потенциальная продуктивность и устойчивость яровой пшеницы к почвенной засухе в зависимости от условий минерального питания: Автореф. докт. дис. М., 2000.
9. *Серезина И.И.* Продуктивность и адаптивная способность сельскохозяйственных культур при использовании микроэлементов и регуляторов роста: Автореф. докт. дис. М., 2008.
10. *Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений. JL: Наука, 1974.
11. *Шматъко И.Г., Григорюк И.А., Шведова О.Е.* Устойчивость растений к водному и температурному стрессам. Киев: Наукова Думка, 1989.
12. *Eisvand H.K., Ahmadi A.* Effect of drought stress and timing of nitrogen application on N-remobilization, bread making quality and the pattern of storage proteins expression in wheat grains // Izan. J. agr. Sci., 2006. V. 36. № 6. P. 186-194.

13. *Gorny A.J.* Genetic and physiological aspects of the adaptation to water and nutrient limitations in spring barley. W, 1999, Cr/S. 173-184.

14. *Warren B.* Climatic influences on Midwest drought during the twentieth century // J. of climate. Boston, 2008. Feb. 1. V. 21, Iss. 3. P. 517-529.

Рецензент — д. с.-х. н. В.А. Черников

SUMMARY

Spring wheat drought resistance, depending on both nitrogen content in crops and presowing treatment of seeds with molybdenum and zinc, has been researched in the article. Decrease in spring wheat productivity at drought time is due to increased nitrogenous plant alimentation. It has been discovered that spring wheat productivity decrease, which is due to lack of moisture at crucial points for plants, could be minimized by means of not only optimal nitrogen dose, but also by treating seeds before sowing with both molybdenum and zinc solutions. Factors influence on both experimental plants nitrogen intake and on protein content in wheat seed is studied. Possible mechanism of action of methods allowing to raise spring wheat drought resistance, differing in its duration, has been considered in the article.

Key words: spring wheat, provision of plants with enough nitrogen, molybdenum, zinc.

Верниченко Игорь Васильевич — д. б. н. Тел. 976-16-23.

Эл. почта: i.vernichenko@gmail.com.

Захурул И. — докторант каф. агрономической и биологической химии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.