

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО СТРЕССА

И.В. СЛАСТЯ

В условиях вегетационного опыта изучали действие органической (ТЭС) и неорганической (силикат натрия) форм кремния на продуктивность при обработке семян, вегетирующих растений и их комбинации при выращивании сортов ярового ячменя в условиях водного стресса. Установлено, что соединения кремния снижали отрицательные последствия засухи и способствовали повышению продуктивности ячменя на 15-21 %. Существенных различий между действием двух форм кремния не выявлено, но была установлена разница в отзывчивости сортов. Эффективность соединений кремния на сорте Зазерский 85 при засухе оказалась выше, чем в условиях нормального влагообеспечения, на сорте Биос 1 — равнозначной с таковой при нормальном увлажнении. Влияние внекорневой обработки ячменя было достоверным, но меньшим, чем при обработке семян, особенно на сорте Зазерский 85. Максимальная продуктивность у обоих сортов достигалась при сочетании опрыскивания с предпосевной обработкой семян. Обработка семян в условиях засухи приводила к увеличению содержания в зерне фосфора, в меньшей степени — калия и не влияла на количество общего азота.

Ключевые слова: кремний, ячмень, продуктивность, водный стресс.

Keywords: silicon compounds, barley, productivity, water stress.

К ведущим сельскохозяйственным культурам не только в России, но и за рубежом относится яровая ячмень. В России он занимает первое место по посевным площадям и второе — по урожайности среди зерновых, следуя за озимой пшеницей. Из-за высокого содержания питательных веществ, особенно белка, а также сбалансированности его состава ячмень считается ценнейшей кормовой культурой. Значительная часть посевов ярового ячменя находится в зоне неустойчивого земледелия, где главный лимитирующий фактор — водный дефицит. Следовательно, проблема повышения засухоустойчивости культуры имеет важное значение. В связи с этим все более широкое использование в сельском хозяйстве находят соединения кремния, которые, по данным многих ученых, положительно влияют на растения, способствуют увеличению урожая, улучшению его качества и повышению устойчивости к неблагоприятным факторам среды (1-26). Высокую эффективность на разных культурах проявили давно и широко известные кремнийорганические соединения — мивал, крезацин, экосты, акрисил и др., а также некоторые неорганические соединения, улучшающие рост и развитие растений и повышающие устойчивость к различным стрессам (водному, температурному, солевому, поражению грибными болезнями) (18-25).

О связи кремния с засухоустойчивостью еще в 1960-1980 годы писал S. Yoshida (27). Исследования последних лет показали, что кремниевые удобрения, вносимые в почву, могут повысить устойчивость растений к засухе и увеличить их продуктивность (4-8). Кроме того, не столь многочисленные работы свидетельствуют, что повышению засухоустойчивости могут способствовать внекорневая обработка растений, добавление кремния в питательный раствор и внесение с поливной водой (7, 20), а также предпосевная обработка семян (21).

Некоторые авторы (11, 12, 17, 24, 26) при изучении действия кремниевых соединений на продуктивность культур в вегетационных и полевых опытах с нерегулируемым влагообеспечением установили, что эффективность применения кремния выше в неблагоприятные по погодным услови-

ям вегетационные сезоны (острозасушливые и жаркие). Эффективность использования кремнийсодержащих соединений для повышения засухоустойчивости и продуктивности растений во многом определяется видовыми и сортовыми особенностями выращиваемой культуры (28).

Число исследований, в которых влияние кремния на продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях ярко выраженного водного стресса изучали в период наибольшей чувствительности растений к водному дефициту при обработке семян и вегетирующих растений, крайне мало. Так, положительное влияние предпосевной обработки семян показано А.В. Барановым и И.И. Серегиной (21) при использовании соединений кремния (оценка продуктивности пшеницы в вегетационном опыте в условиях водного стресса), а также Л.Д. Прусаковой с соавт. (18), анализировавшими действие препаата экост на продуктивность яровой пшеницы в полевом мелкоделяночном опыте при создании разных условий влагообеспеченности. В этих и других публикациях сообщается также о сортовых различиях в отзывчивости пшеницы (18, 21) и злаковых трав (7) на обработку кремнием при действии засухи.

Нашей целью было изучение влияния доступных для растений соединений кремния на продуктивность ярового ячменя (кремнифильная культура) при выращивании в условиях водного стресса, а также сравнение эффективности двух форм кремния (органической и неорганической) в разных вариантах применения (предпосевная обработка семян, внекорневая обработка растений, сочетание двух этих приемов).

*Методика.* Объектом исследования служил яровой ячмень сортов Зазерский 85 и Биос 1, рекомендованных для возделывания в Нечерноземной зоне РФ и отобранных по результатам предварительных краткосрочных экспериментов по оценке отзывчивости на обработку соединениями кремния (29). Опыты проводили в 2005-2007 годах в вегетационном домике в сосудах Митчерлиха в 4-кратной повторности. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая;  $pH_{\text{сол.}}$  4,2; гидролитическая кислотность — 6,0, сумма обменных катионов — 10,4 и емкость поглощения — 16,7 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями — 62,3 %, содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) по Кирсанову — 92, обменного калия ( $K_2O$ ) по Масловой — 70 мг/кг почвы. В связи с высокой гидролитической кислотностью почвы проводили ее известкование. Необходимое количество извести определяли по величине гидролитической кислотности. В вегетационных опытах целесообразно применять быстродействующие растворимые соединения кальция, например негашеную известь ( $CaO$ ), для которой коэффициент пересчета по отношению к  $CaCO_3$  равен 0,56. Доза  $CaO$  составила 9,2 г/сосуд. Минеральные удобрения вносили в дозе 0,15 г/кг почвы по д.в. N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ .

В качестве соединений кремния использовали силикат натрия (неорганическая форма) и тетраэтоксисилан (ТЭС) — этиловый эфир ортокремниевой кислоты (органическая форма) в концентрации 0,4 %. Для обработки семян использовали обе формы, для опрыскивания растений в период вегетации — только силикат натрия. Семена обрабатывали из расчета 1,2 мл/100 г семян (12 л/т). Опрыскивание растений проводили в фазу выхода в трубку—начала образования 7-го листа за 2 сут до начала водного стресса. К периоду уборки в каждом сосуде было по 20 растений.

Водный стресс создавали прекращением полива растений в период образования 7-го листа (фаза выхода в трубку, появление 3-го междоузлия), что у ячменя соответствует периоду закладки элементов продуктивности (формирование структурных элементов колоса), и поддерживали до

приближения влажности почвы к влажности устойчивого завядания. После этого полив возобновляли. Таким образом моделировались условия засухи северного типа, характерного для Нечерноземной зоны РФ.

Определение содержания в зерне общего азота, фосфора и калия проводили в одной навеске после мокрого озолоения методом Гинзбург (общего азота — микрометодом Кьельдаля, фосфора — колориметрическим методом, калия — методом пламенной фотометрии) (30).

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием дисперсионного анализа (31) .

*Результаты.* При действии на растения почвенной засухи в наиболее важный для закладки элементов продуктивности период обработка семян соединениями кремния повышала устойчивость к водному стрессу и увеличивала продуктивность у обоих сортов ячменя (табл. 1).

**1. Показатели продуктивности у ярового ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 в условиях водного стресса при разных вариантах обработки соединениями кремния (вегетационный опыт)**

Вариант обработки	Биологическая продуктивность		Масса				Коэффициент зерно:солома
			зерна		соломы		
	г/сосуд	к контролю, %	г/сосуд	к контролю, %	г/сосуд	к контролю, %	
<b>Сорт Зазерский 85</b>							
<i>2006 год</i>							
Контроль (вода)	26,8	100	7,3	100	19,5	100	0,37
ТЭС	29,0	108,2	<u>8,5</u>	116,4	20,5	105,1	<u>0,41</u>
Силикат натрия	<u>29,1</u>	108,6	<u>9,0</u>	123,3	20,1	103,1	<u>0,45</u>
НСР <sub>0,95</sub>	2,3		0,8		—		0,04
<i>2007 год</i>							
Контроль (вода, семена)	25,3	100	6,0	100	19,3	100	0,31
ТЭС (семена)	<u>28,1</u>	111,1	<u>6,9</u>	115,0	<u>21,2</u>	109,8	0,32
Силикат натрия (семена)	<u>28,2</u>	111,5	<u>7,1</u>	118,3	<u>21,1</u>	109,3	0,34
Контроль (вода, семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>27,7</u>	109,5	<u>6,6</u>	110,0	<u>21,1</u>	109,3	0,31
ТЭС (семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>30,5</u>	120,5	<u>7,2</u>	120,0	<u>23,3</u>	120,7	0,31
Силикат натрия (семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>30,3</u>	119,8	<u>7,4</u>	123,3	<u>22,9</u>	118,6	0,32
НСР <sub>0,95</sub>	2,4		0,6		1,7		0,05
<b>Сорт Биос 1</b>							
<i>2006 год</i>							
Контроль (вода)	26,9	100	6,4	100	20,5	100	0,31
ТЭС	28,4	105,6	<u>7,3</u>	114,1	21,1	102,9	0,34
Силикат натрия	28,0	104,1	<u>7,6</u>	118,8	20,4	99,5	<u>0,37</u>
НСР <sub>0,95</sub>	2,3		0,8		—		0,04
<i>2007 год</i>							
Контроль (вода, семена)	24,6	100	6,2	100	18,4	100	0,34
ТЭС (семена)	26,8	108,9	<u>7,2</u>	116,1	19,6	106,5	0,37
Силикат натрия (семена)	26,5	107,7	<u>7,2</u>	116,1	19,3	104,9	0,37
Контроль (вода, семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>27,2</u>	110,6	<u>6,9</u>	111,3	<u>20,3</u>	110,3	0,34
ТЭС (семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>29,8</u>	121,9	<u>7,6</u>	122,6	<u>22,2</u>	120,6	0,34
Силикат натрия (семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>29,4</u>	119,5	<u>7,7</u>	124,2	<u>21,7</u>	117,9	0,35
НСР <sub>0,95</sub>	2,4		0,6		1,7		0,05

Примечание. ТЭС — тетраэтоксисилан. Подчеркнуты значения, имеющие достоверную разницу с контролем. Прочерк означает, что существенность различий не доказана.

В 2006 году прибавки зерна от обработки семян ТЭС и силикатом натрия у сорта Зазерский 85 составили соответственно 16,4 и 23,3 % к контролю, у сорта Биос 1 — 14,1 и 10,4 %. В 2006 году обработка семян кремнием не оказала существенного влияния на массу соломы, у сорта Зазерский 85 наблюдалась лишь тенденция к ее увеличению. Биологическая продуктивность растений достоверно возростала при обработке силикатом натрия — на 8,6 % по отношению к контролю, при обработке ТЭС она

увеличивалась незначительно (на 8,2 %).

При этом засуха значительно снижала продуктивность зерна у обоих сортов. В 2006 году сорт Биос 1 пострадал сильнее, чем Зазерский 85: снижение массы зерна составило соответственно 52,6 и 38,1 % по отношению к контролю в условиях нормального влагообеспечения. При этом у обоих сортов наблюдалось увеличение биомассы соломы — соответственно на 13,4 и 7,3 %. В результате общая биомасса растений уменьшалась соответственно на 7,6 и 17,5 %. Доля зерна в общей биопроductивности под действием засухи существенно снижалась: коэффициент зерно:солома уменьшился с 0,69 до 0,37 (Зазерский 85) и с 0,71 до 0,31 (Биос 1). Применение кремния способствовало увеличению коэффициента зерно:солома у растений сорта Зазерский 85 — до 0,41 (ТЭС) и 0,45 (силикат натрия), у сорта Биос 1 — соответственно до 0,34 и 0,37.

В 2007 году засуха оказала большее влияние на сорт Зазерский 85. Его продуктивность была ниже, чем в 2006 году, и ее уменьшение в результате действия водного стресса было значительнее — на 54,6 % по отношению к показателю при нормальной влагообеспеченности. При этом биомасса соломы возрастала на 16,2 %, общая биомасса растений снижалась на 15,1 %, коэффициент зерно:солома уменьшался с 0,80 до 0,31. Продуктивность зерна у сорта Биос 1 падала в результате засухи на 48,3 % при незначительном увеличении массы соломы (на 6,4 %) и 2-кратном уменьшении соотношения зерна и соломы (с 0,69 до 0,34) на фоне снижения общей биологической продуктивности на 16,0 %.

В среднем за 2 года засуха снизила урожай зерна у сорта Зазерский 85 на 46,4 % (колебания в пределах 38,1-54,6 %), у сорта Биос 1 — на 50,4 % (колебания — 48,3-52,6 %). Следовательно, в среднем за 2 года реакция сортов на засуху была сходной. Более сильное влияние засухи на сорт Биос 1 в 2006 году можно объяснить погодными условиями вегетационного сезона и сортовыми особенностями кушения растений. В период закладки элементов продуктивности (III декада июня) в 2006 году стояла более жаркая погода (разница с 2007 годом составляла 4,4 °С), которая усугубляла действие засухи. В предшествующую этому фазу кушения (II декада июня) температурные условия, наоборот, были ближе к среднепогодным, что создавало благоприятный фон для кушения. Возможно, поэтому сорт Биос 1, обладающий большим потенциалом кушения, в благоприятных для его реализации условиях 2006 года пострадал сильнее: жаркая погода и водный стресс в период закладки элементов продуктивности колосьев, последовавший за фазой активного кушения, сделали растения более уязвимыми к действию засухи из-за большей потребности во влаге.

Соединения кремния, как и в предыдущий год, способствовали снижению негативного влияния засухи на продуктивность зерна. Прибавки зерна у сорта Зазерский 85 составили 15,0 % (ТЭС) и 18,3 % (силикат натрия) и почти в 2 раза превышали таковые в нормальных условиях влагообеспечения. В 2007 году наблюдалось достоверное увеличение массы соломы при обработке ТЭС (на 9,8 %) и силикатом натрия (на 9,3 %) и отмечалась тенденция к увеличению соотношения между массой зерна и соломы в варианте с силикатом натрия. Общая продуктивность растений возрастала на 11,1 (ТЭС) и 11,5 % (силикат натрия) по отношению к контролю. Прибавка зерна от использования обеих форм кремния у сорта Биос 1 имела одинаковую величину — 16,1 %. Биомасса соломы, соотношение массы зерна и соломы, а также общая продуктивность растений возрастали незначительно.

Таким образом, на фоне засухи рост продуктивности зерна у сорта

Зазерский 85 при обработке семян ТЭС составлял 15,0-16,4 %, силикатом натрия — 18,3-23,3 %, у сорта Биос 1 — соответственно 14,1-16,1 и 16,1-18,8 %. В среднем за годы исследований ТЭС способствовал увеличению продуктивности зерна у сорта Зазерский 85 на 15,7 %, у сорта Биос 1 — на 15,1 %, силикат натрия — соответственно на 20,9 и 17,4 % (рис. 1, 2).

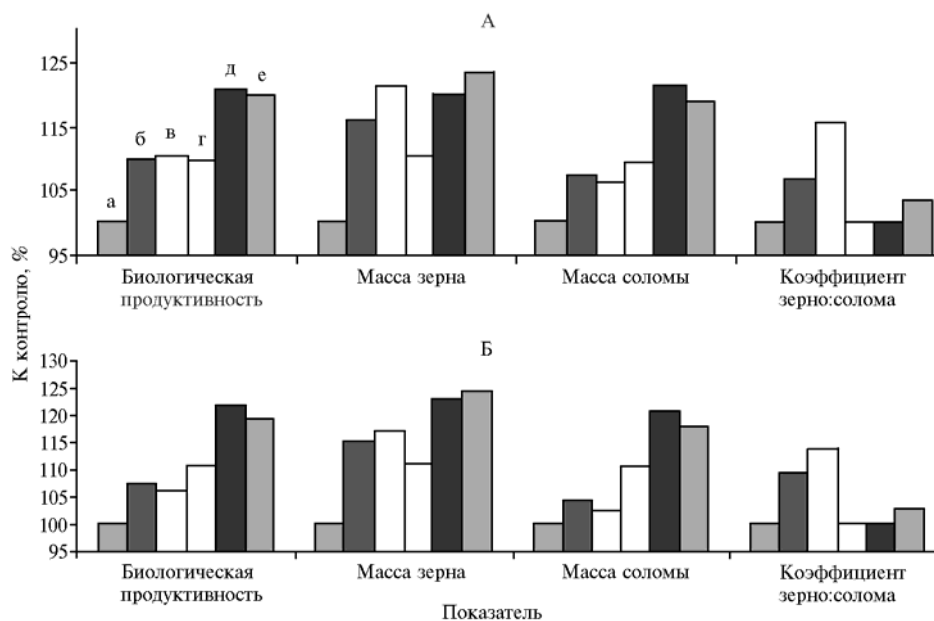


Рис. 1. Показатели продуктивности у сортов Зазерский 85 (А) и Биос 1 (Б) в условиях водного стресса при разных вариантах обработки семян соединениями кремния: а — контроль (вода), б — тетраэтоксисилан (ТЭС), в — силикат натрия, г — контроль (вода) + опрыскивание силикатом натрия, д — ТЭС + опрыскивание силикатом натрия, е — силикат натрия + опрыскивание силикатом натрия (вегетационный опыт, в среднем за 2006-2007 годы).

Иными словами, на фоне засухи на сорте Зазерский 85 силикат натрия действовал эффективнее, чем ТЭС. Влияние обеих форм кремния на сорт Биос 1 было сходным. Важно отметить, что силикат натрия на сорте Биос 1 проявил одинаковую эффективность как на фоне засухе, так и при нормальном влагообеспечении.

Опрыскивание растений раствором силиката натрия способствовало достоверному увеличению продуктивности зерна у обоих сортов ячменя: у сорта Зазерский 85 — на 10,0 %, у сорта Биос 1 — на 11,3 % (см. табл. 1). Биомасса соломы и общая продуктивность растений в результате опрыскивания возрастали у обоих сортов примерно одинаково — на 9,3-10,6 %. В вариантах с сочетанием двух видов обработки прибавки зерна у обоих сортов были близкими: у сорта Зазерский 85 — 20,0 (при использовании ТЭС для обработки семян) и 23,3 % (обработка семян силикатом натрия), у сорта Биос 1 — соответственно 22,6 и 24,2 %. В указанных вариантах значительно возрастала биомасса соломы и общая биопроductивность. Доля хозяйственно ценной части урожая у обоих сортов ячменя при этом не изменялась.

Анализ элементов продуктивности показал (табл. 2), что засуха приводила к значительному уменьшению числа зерен в колосе и массы 1000 зерен при повышении продуктивной кустистости растений. Так, у сорта Зазерский 85 в 2006 году число зерен в колосе снизилось на 21,5 %, масса 1000 зерен — на 29,8 %, продуктивная кустистость возросла на 11,2 %, общая — на 14,7 %. На растениях сорта Биос 1 действие засухи сказалось сильнее: число зерен в колосе уменьшилось на 30,0 %, масса 1000 зерен —

на 43,7 %, продуктивная кустистость увеличилась на 18,8 %, общая — на 19,1 %.

## 2. Элементы продуктивности у ярового ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 в условиях водного стресса при разных вариантах обработки соединениями кремния (вегетационный опыт)

Вариант обработки	Коэффициент кустистости		Число зерен в колосе		Масса			
	продуктивная	общая	шт.	к контролю, %	1000 зерен		зерна с колоса	
					г	к контролю, %	г	к контролю, %
Сорт Зазерский 85								
2006 год								
Контроль (вода)	1,29	2,42	12,5	100	22,9	100	0,28	100
ТЭС	<u>1,42</u>	2,64	12,3	98,4	<u>24,8</u>	108,3	0,30	107,1
Силикат натрия	<u>1,40</u>	2,64	12,6	100,8	<u>25,8</u>	112,7	<u>0,32</u>	114,3
НСП <sub>0,95</sub>	0,09		0,7		0,7		0,03	
2007 год								
Контроль (вода, семена)	1,25	2,33	11,6	100	20,9	100	0,24	100
ТЭС (семена)	<u>1,38</u>	2,52	11,4	98,3	<u>22,6</u>	108,1	0,25	104,2
Силикат натрия (семена)	1,33	2,48	11,8	101,7	<u>23,3</u>	111,5	<u>0,27</u>	112,5
Контроль (вода, семена) + опрыскивание силикатом натрия	1,28	2,32	11,7	100,9	<u>22,7</u>	108,6	<u>0,26</u>	108,3
ТЭС (семена) + опрыскивание силикатом натрия	<u>1,40</u>	2,55	11,7	100,9	<u>22,9</u>	109,6	<u>0,26</u>	108,3
Силикат натрия (семена) + опрыскивание силикатом натрия	1,32	2,45	11,8	101,7	<u>24,9</u>	119,1	<u>0,28</u>	116,7
НСП <sub>0,95</sub>	0,12		0,7		1,2		0,02	
Сорт Биос 1								
2006 год								
Контроль (вода)	1,52	2,68	9,8	100	21,8	100	0,21	100
ТЭС	1,58	2,56	10,1	103,1	<u>23,7</u>	108,7	0,23	109,5
Силикат натрия	1,49	2,60	<u>10,9</u>	111,2	<u>23,9</u>	109,6	<u>0,26</u>	123,8
НСП <sub>0,95</sub>	0,09		0,7		0,7		0,03	
2007 год								
Контроль (вода, семена)	1,40	2,40	10,1	100	23,1	100	0,22	100
ТЭС (семена)	1,45	2,28	10,5	104,0	<u>25,3</u>	109,5	<u>0,25</u>	113,6
Силикат натрия (семена)	1,35	2,32	<u>11,2</u>	110,9	<u>25,1</u>	108,6	<u>0,27</u>	122,7
Контроль (вода, семена) + опрыскивание силикатом натрия	1,45	2,50	10,1	100	<u>25,2</u>	109,1	<u>0,24</u>	109,1
ТЭС (семена) + опрыскивание силикатом натрия	1,47	2,38	10,3	102,0	<u>27,2</u>	117,7	<u>0,26</u>	118,2
Силикат натрия (семена) + опрыскивание силикатом натрия	1,35	2,32	<u>11,1</u>	109,7	<u>27,4</u>	118,6	<u>0,29</u>	131,8
НСП <sub>0,95</sub>	0,12		0,7		1,2		0,02	

Примечание. ТЭС — тетраэтоксисилан. Подчеркнуты значения, имеющие достоверную разницу с контролем. Прочерк означает, что существенность различий не доказана.

У сорта Зазерский 85 обработка семян препаратами кремния приводила к еще большему увеличению числа продуктивных стеблей в условиях засухи — на 8,5 % (силикат натрия) и 10,1 (ТЭС) по отношению к контролю (засуха). При этом масса 1000 зерен возрастала соответственно на 12,7 и 8,3 %, но число зерен в колосе не изменялось. У сорта Биос 1 происходило увеличение как массы 1000 зерен (силикат натрия — на 9,6 %, ТЭС — на 8,7 %), так и числа зерен в колосе (в варианте с силикатом натрия — на 11,2 % по отношению к контролю), но число продуктивных стеблей не возрастало.

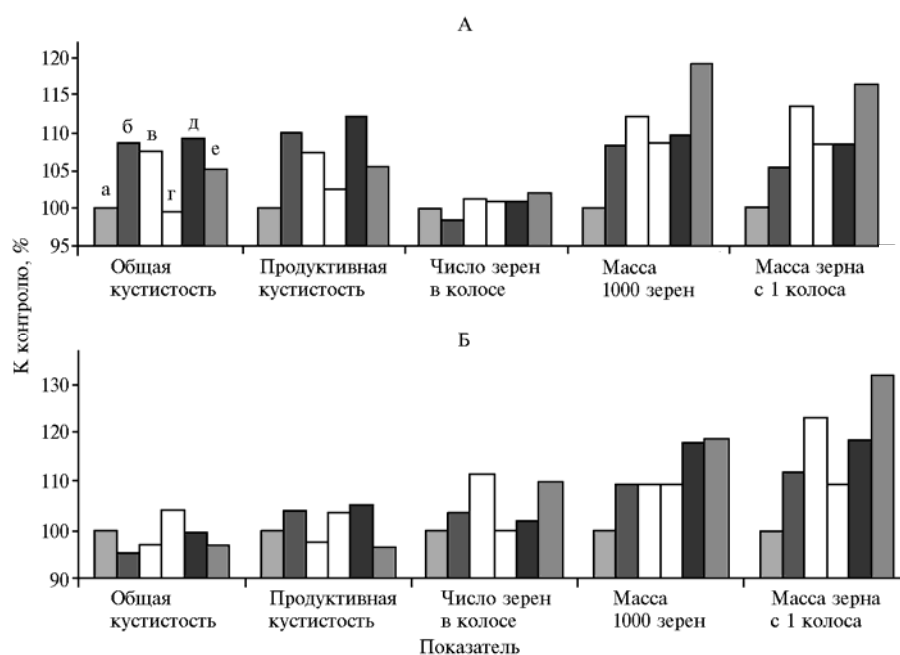
В 2007 году отмечалось аналогичное действие засухи на элементы продуктивности: у сорта Зазерский 85 снижалось число зерен в колосе и масса 1000 зерен соответственно на 31,4 и 40,8 % относительно значений в условиях нормального влагообеспечения, у сорта Биос 1 — на 26,8 и 37,2 %. Продуктивная кустистость сортов в условиях засухи повысилась соответственно на 11,6 и 14,8 %, общая — на 19,5 и 15,4 %.

Применение соединений кремния способствовало снижению проявления последствий засухи и по влиянию на элементы продуктивности было сходным с регистрируемым в 2006 году. У сорта Зазерский 85 обработка семян приводила к росту массы 1000 зерен на 8,1 % (ТЭС) и 11,5 %

(силикат натрия), не влияла на число зерен в колосе и увеличивала продуктивную кустистость. У сорта Биос 1 повышалась масса 1000 зерен — на 9,5 % (ТЭС) и 8,6 % (силикат натрия), не изменялась продуктивная кустистость, при этом число зерен в колосе возрастало только в варианте с силикатом натрия (на 10,9 %).

Таким образом, при засухе силикат натрия не приводил к снижению продуктивной кустистости у сорта Биос 1, которое наблюдалось в условиях нормальной влагообеспеченности. Это, вероятно, связано с компенсаторными реакциями растения на водный стресс, направленными на минимизацию вреда от засухи, наносимого репродуктивным органам, и предотвращения значительного падения зерновой продуктивности, что проявляется у названного сорта не только в способности формировать более озерненные колосья и крупное зерно, но и в значительном варьировании кустистости у растений (сорт, как ранее отмечалось, обладает большим потенциалом и длительным периодом кущения). В нормальных условиях влагообеспечения снижение продуктивной кустистости растения при обработке силикатом натрия, скорее всего, объясняется той же сортовой спецификой — максимальным развитием репродуктивных органов, которое при оптимальной влагообеспеченности реализуется у этого сорта прежде всего через увеличение озерненности колоса и формирование высокой массы 1000 зерен, что отличает указанный сорт от сорта Зазерский 85.

У сорта Зазерский 85 обработка семян ТЭС и силикатом натрия почти всегда сопровождалась ростом продуктивной кустистости: в условиях засухи — соответственно на 10,1-10,4 и 6,4-8,5 % по отношению к контролю (по ТЭС — достоверно в оба года исследований, по силикату натрия — достоверно в 2006 году при тенденции в 2007 году); при нормальной влагообеспеченности отмечалась лишь тенденция к росту. Следовательно, только сорт Зазерский реагировал на обработку семян кремнием увеличением продуктивной кустистости.



**Рис. 2.** Элементы продуктивности у сортов Зазерский 85 (А) и Биос 1 (Б) в условиях водного стресса при разных вариантах обработки семян соединениями кремния: а — контроль (вода), б — тетраэтоксисилан (ТЭС), в — силикат натрия, г — контроль (вода) + опрыскивание силикатом натрия, д — ТЭС + опрыскивание силикатом натрия, е — силикат натрия + опрыскивание силикатом натрия (вегетационный опыт, в среднем за 2006-2007 годы).

Установлено, что и сам водный дефицит способствовал увеличению продуктивной кустистости у обоих сортов. В 2007 году этот показатель был близким — 12,5 (Зазерский 85) и 14,8 % (Биос 1) по отношению к таковому в условиях нормальной влагообеспеченности, а в 2006 году составлял соответственно 11,2 и 18,8 %, что, как уже отмечалось, обусловило большую уязвимость раскустившегося сорта Биос 1.

Таким образом, у сорта Зазерский 85 увеличение продуктивности при засухе в вариантах с обработкой семян препаратами кремния происходило за счет роста массы 1000 зерен и числа продуктивных стеблей. У сорта Биос 1 ТЭС повышал только массу 1000 зерен, силикат натрия — и массу 1000 зерен, и число зерен в колосе (см. рис. 2).

Прибавки урожая зерна от опрыскивания на фоне засухи были не столь высокими, как ожидалось: у сорта Зазерский 85 — 10,0 %, у сорта Биос 1 — 11,3 %. У первого достоверную прибавку отмечали только на фоне засухи, у второго — и в условиях засухи, и при достаточной влагообеспеченности. При применении препаратов кремния в период вегетации на обоих сортах прибавки были получены за счет увеличения массы 1000 зерен (см. табл. 2): у сорта Зазерский 85 — на 8,6 %, у сорта Биос 1 — на 9,1 %. Сочетание двух видов обработок у сорта Зазерский 85 обеспечивало прибавку урожая зерна за счет увеличения массы 1000 зерен на 9,6 (семена — ТЭС) и 19,1 % (семена — силикат натрия), у сорта Биос 1 — соответственно на 17,7 и 18,6 %. У сорта Зазерский 85 в варианте с комбинацией опрыскивания и обработки семян ТЭС возрастала также продуктивная кустистость — на 12,0 % по отношению к контролю (главным образом за счет обработки семян), а у сорта Биос 1 в варианте с двойной обработкой силикатом натрия — и число зерен в колосе (на 9,7 %). То есть наиболее крупное зерно у обоих сортов формировалось при применении силиката натрия дважды за вегетацию — при обработке семян и вегетирующих растений, а у сорта Биос 1 — также при сочетании опрыскивания с обработкой семян ТЭС.

### 3. Содержание (%) азота, фосфора и калия в зерне ярового ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 в условиях водного стресса при разных вариантах обработки соединениями кремния (вегетационный опыт)

Вариант обработки	Зазерский 85				Биос 1			
	N	сырой протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	сырой протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2006 год								
Контроль (вода)	2,34	13,3	0,78	0,42	2,17	12,4	0,82	0,52
ТЭС	2,43	13,8	<u>0,90</u>	<u>0,48</u>	2,30	13,1	<u>0,94</u>	<u>0,58</u>
Силикат натрия	2,48	14,1	<u>0,96</u>	<u>0,48</u>	2,28	13,0	<u>0,97</u>	<u>0,60</u>
НСР <sub>0,95</sub>	0,20		0,11	0,06	0,20		0,11	0,06
2007 год								
Контроль (вода, семена)	2,00	11,4	0,82	0,42	1,96	11,2	0,90	0,50
ТЭС (семена)	2,05	11,7	<u>0,92</u>	0,46	2,00	11,4	<u>1,01</u>	<u>0,55</u>
Силикат натрия (семена)	2,10	12,0	<u>0,96</u>	<u>0,47</u>	2,00	11,4	<u>1,04</u>	<u>0,56</u>
Контроль (вода, семена) + опрыскивание силикатом натрия	2,08	11,8	<u>0,90</u>	0,45	1,98	11,3	<u>1,00</u>	0,54
ТЭС (семена) + опрыскивание силикатом натрия	2,12	12,1	<u>0,95</u>	<u>0,47</u>	2,00	11,4	<u>1,06</u>	<u>0,56</u>
Силикат натрия (семена) + опрыскивание силикатом натрия	2,15	12,2	<u>0,98</u>	<u>0,48</u>	2,04	11,6	<u>1,10</u>	<u>0,57</u>
НСР <sub>0,95</sub>	—		0,08	0,05	—		0,08	0,05

Примечание. ТЭС — тетраэтоксисилан. Подчеркнуты значения, имеющие достоверную разницу с контролем. Проверк означает, что существенность различий не доказана.

Применение соединений кремния оказало существенное влияние на содержание в зерне фосфора и калия (табл. 3). У сорта Зазерский 85 обработка семян ТЭС увеличивала содержание фосфора на 12,2-15,4 % (в среднем на 13,8 %), у сорта Биос 1 — на 12,2-14,6 % (в среднем на 13,3 %),



силикатом натрия — соответственно на 17,1-23,1 % (в среднем на 20,1 %) и на 15,6-18,3 % (в среднем на 17,0 %). Опрыскивание растений силикатом натрия повышало этот показатель у сортов соответственно на 9,8 и 11,1 %. В вариантах с сочетанием двух видов обработки он увеличивался на 15,8 (опрыскивание и обработка семян ТЭС) и 19,5 % (опрыскивание и обработка семян силикатом натрия) — у сорта Зазерский 85 и соответственно на 17,8 и 22,2 % — у сорта Биос 1.

Несколько меньшим было влияние соединений кремния на содержание калия. Обработка семян ТЭС в 2006 году существенно увеличивала этот показатель у обоих сортов (Зазерский 85 — на 14,3 %, Биос 1 — на 11,5 %), в 2007 году — только у сорта Биос 1 (на 10,0 %). Силикат натрия в оба года способствовал увеличению содержания калия в зерне: у сорта Зазерский 85 — соответственно на 14,3 и 11,9 % (в среднем на 13,1 %), у сорта Биос 1 — на 15,4 и 12,0 % (в среднем на 13,7 %). Опрыскивание не оказало существенного влияния на содержание калия в зерне у обоих сортов, а сочетание двух видов обработки по годам увеличивало его соответственно на 11,9 и 14,3 % (Зазерский 85) и 12,0 и 14,0 % (Биос 1). Содержание в зерне общего азота не зависело от обработки.

Таким образом, почвенная засуха существенно снижала продуктивность у обоих сортов ячменя. Действие соединений кремния в условиях водного стресса уменьшало ее отрицательные последствия, причем в условиях засухи эффект от их применения был значительнее, чем при нормальной влагообеспеченности. В большей мере это проявлялось на сорте Зазерский 85: средняя прибавка урожая при использовании ТЭС в условиях достаточной влагообеспеченности составляла 10,3 %, при засухе — 15,7 %, при применении силиката натрия — соответственно 11,4 и 20,8 %, то есть прибавки в условиях засухи оказались в 1,5 (ТЭС) и почти в 2,0 раза (силикат натрия) больше. На сорте Биос 1 разница между действием препаратов кремния на фоне засухи и в условиях нормальной влагообеспеченности практически не проявилась: по ТЭС прирост биомассы зерна составил соответственно 15,1 и 11,9 %, по силикату натрия — 17,4 и 15,7 %. Прибавки зерна от опрыскивания на фоне засухи вопреки ожиданиям незначительно превышали прибавки от опрыскивания в условиях нормального влагообеспечения: у сорта Биос 1 они равнялись соответственно 11,3 и 10,0 %, у сорта Зазерском 85 — 10,0 и 7,6 %.

Полученные результаты свидетельствуют, что на эффективность применения соединений кремния в большой степени влияет фактор влагообеспеченности. Также весьма существенна разница между сортами по эффекту от применения соединений кремния в разных условиях влагообеспеченности. Сорт Биос 1 проявил высокую отзывчивость на обработку силикатом натрия при нормальной влагообеспеченности. Это свидетельствует о сложной зависимости между продуктивностью и влияющими на нее факторами. Наряду с влагообеспеченностью к ним, в первую очередь, следует отнести физиолого-биохимические и анатомо-морфологические факторы, в том числе связанные с устойчивостью растений к поражению болезнями. Изучение такой зависимости и неоднозначного влияния влагообеспеченности на разные сорта представляет несомненный теоретический и практический интерес.

Итак, соединения кремния снижали отрицательные последствия засухи и способствовали повышению продуктивности ячменя — при обработке семян на 14,1-23,3 %. Существенных различий между действием двух форм кремния выявлено не было, но установлена разница в отзывчивости сортов на обработку. Эффективность соединений кремния на сорте Зазер-

ский 85 при засухе оказалась выше, чем в условиях нормальной влагообеспеченности, на сорте Биос 1 — равнозначной с таковой при нормальном увлажнении. Влияние внекорневой обработки ячменя было достоверным, но меньшим, чем при обработке семян, особенно на сорте Зазерский 85. Максимальная продуктивность у обоих сортов достигалась при сочетании опрыскивания с предпосевной обработкой семян. Обработка семян в условиях засухи приводила к увеличению содержания в зерне фосфора, в меньшей степени — калия и не влияла на количество общего азота.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин Н.Е. О биологической роли кремния у риса. Вестник сельскохозяйственной науки, 1988, 10: 77-85.
2. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига, 1978.
3. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. Новосибирск, 1984.
4. Ермолаев А.А. Кремний в сельском хозяйстве. М., 1992.
5. Самсонова Н.Е. Кремний в почве и растениях. Агрохимия, 2005, 6: 76-86.
6. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В. Кремниевые удобрения: прошлое, настоящее и будущее. Мат. II нац. конф. «Проблемы истории, методологии и философии почвоведения». Пушкино, 2007, т. 2: 397-400.
7. Eneji E., Inanaga S., Muranaka S., Li J., Hattori T., An P., Tsuji W. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. J. Plant Nutr., 2008, 31(2): 355-365.
8. Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Шабнова Н.И., Бочарникова Е.А. Кремниевые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений. Агрохимия, 2007, 5: 63-67.
9. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений. Агрохимия, 2003, 5: 42-47.
10. Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Шабнова Н.И., Бочарникова Е.А. Реакция растений на кремниевые удобрения при засолении почвы. Агрохимия, 2005, 10: 59-63.
11. Ермаков Е.И. Антистрессовое воздействие кремнийсодержащего хелатного микроудобрения на растения при некорневой обработке в защищенном грунте. Гавриш, 2001, 3: 16-17.
12. Сластя И.В. Кремнийсодержащие вещества как фактор экологизации защиты растений, оптимизации фитосанитарного статуса культур и резерв увеличения производства экологически безопасных продуктов питания. Proc. Second Int. Iran and Russia Conference «Agriculture and Natural Resources». М., 2001: 135-139.
13. Шмакова Н.В. Влияние соединений кремния и кремнийфунгицидных смесей на фитосанитарное состояние семян яровой пшеницы. Сб.: Адаптивные технологии в растениеводстве. Итоги и перспективы. Ижевск, 2003: 159-161.
14. Дорожкина Л.А., Иванов Д.Ю. Применение силиката натрия для снижения гербицидной нагрузки в посевах зерновых культур. Доклады ТСХА, 2005, 277: 177-182.
15. Дьяков В.М., Корзинников Ю.С., Матыченков В.В. Экологически безвредные регуляторы роста мивал и крезацин. В сб.: Регуляторы роста растений. М., 1990: 52-62.
16. Трусович А.В. Кремнийсодержащие рострегулирующие растворы в защите томата от болезней. В сб.: Производство экологически безопасной продукции растениеводства: Региональные рекомендации. Курск, 1997, вып. 3: 65-68.
17. Троязыков Д.Д., Каменьков А.В., Корзинников Ю.С. Агроклиматические и агротехнические факторы выращивания яровой пшеницы в Восточной Сибири. Вестник РАСХН, 2004, 4: 48-51.
18. Прусакова Л.Д., Чижова С.И., Третьяков Н.Н., Агеева Л.Ф., Голанцева Е.Н., Яковлев А.Ф. Антистрессовые функции экоста и эпибрасинолида на яровой пшенице в условиях центральной нечерноземной зоны. Аграрная Россия, 1999, 1(2): 39-41.
19. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Защита растений от неблагоприятных факторов окружающей среды. Мат. VI Межд. симп. «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». М., 2005, т. 1: 316-318.
20. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение. Автореф. докт. дис. Пушкино, 2008.
21. Баранов А.В., Серегина И.И. Влияние обработки семян кремнием на продуктивность яровой пшеницы в условиях дефицита влаги в почве. Бюлл. ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. М., 2005: 135-136.
22. Корзинников Ю.С. Адаптация возделываемых растений к экстремальным условиям

- среды и применение химических адаптогенов. Вестник РАСХН, 2000, 2: 22-25.
23. Ковалев В.М., Янина М.М. Методологические принципы и способы применения рострегулирующих препаратов нового поколения в растениеводстве. Аграрная Россия, 1999, 1(2): 9-12.
  24. Сармосова А.Н. Эффективность использования новых биологически активных веществ на белокочанной капусте. Мат. Всерос. конф. «Инновации молодых ученых — сельскому хозяйству». М., 2006, ч. 1: 243-247.
  25. Гоголева Г.А., Голоулина Л.К. Адаптационные возможности яблони при техногенном загрязнении воздуха. В сб.: Селекция и семеноводство плодовых и ягодных культур. М., 1993: 63-71.
  26. Янышевская О.Л., Дорожкина Л.А., Довгун В.Б. Использование кремния, марганца и хрома при выращивании дайкона. Гавриш, 2001, 4: 14-15.
  27. Yoshida S. The physiology of silicon in rice. Food Fert. Tech. Centr. Tech. Bull. Taipei. Taiwan, 1975, 4: 28-34.
  28. Ложникова В.Н., Сластия И.В. Рост растений ярового ячменя и активность эндогенных фитогормонов под действием кремния. Сельскохозяйственная биология, 2010, 3: 102-107.
  29. Сластия И.В. Оценка отзывчивости различных сортов ячменя на обработку кремний-содержащими веществами. Доклады ТСХА, 2006, 278: 676-680.
  30. Муравин Э.А., Обуховская Л.В., Ромодина Л.В. Практикум по агрохимии. М., 2005.
  31. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985.

*ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева,*  
127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,  
e-mail: Slasty2007@mail.ru, irinaslastya@gmail.com

*Поступила в редакцию*  
*11 апреля 2012 года*

## USE OF SILICON COMPOUNDS AS A FACTOR OF RAISING SPRING BARLEY CULTIVARS PRODUCTIVITY UNDER WATER STRESS

*I.V. Slasty*

### S u m m a r y

In the pot experiments the effect of organic (tetraethoxysilan, the ethylic ether of orthosilicic acid) and inorganic silicon compounds (sodium silicate) on productivity of two spring barley varieties (Bios 1 and Zazersky 85) under water stress was studied. The positive influence of silicon was found, and the loss of productivity under soil drought decreased in both barley varieties by 15-21 %. The essential varieties between effects of two silicon forms were not found, however, the difference between two varieties was established. The efficiency of silicon compounds in the Zazerskii 85 variety was higher at drought conditions than it was at normal water content. In the Bios 1 variety this difference was not revealed. The influence of spray during the vegetation increased productivity of both barley varieties, but less then seed treatment, in the Zazerskii variety especially. The highest productivity was obtained if seed treatment and spray during the vegetation were applied in combination. The seed treatment in the droughty conditions increases the phosphorus content in grain, in a lesser degree — the potassium content, and it has no influence on total nitrogen content.

### Новые книги

Брем А. **Жизнь животных.** М.: изд-во «Эксмо», 2010, 960 с.

Альфред Брем — в этом имени заключена особая магия известного с детства знатока животного мира, путешественника и замечательного рассказчика. Его истории о зверях, птицах и насекомых всегда полны тонких наблюдений и окрашены искренними человеческими эмоциями — вся эта фауна сочится, негодует, грустит, обзаводится семьями, обживает новые территории и т.д. Основная трудность в практическом использовании этого интереснейшего собрания наблюдений, фактов и непридуманных историй заключалась в одном большом неудобстве. Во-первых, шесть или даже три тома Брема мог позволить себе

далеко не каждый. Во-вторых, найти интересующее вас существо, не разбираясь в типах, семействах и т.п. мудрых вещах, было не так-то просто. Эти соображения и привели в конечном счете к появлению уникального издания — словаря животного мира, основанного на многотомном собрании Альфреда Брема. В результате получился универсальный справочник, охватывающий всех значимых представителей земной фауны, отличный путеводитель по морям, пустыням, саваннам и джунглям. Статьи о животных, расположенные в обычном алфавитном порядке, проиллюстрированы великолепными «бремовскими» рисунками, выполненными со знанием дела замечательными рисовальщицами-натуралистами.