

ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КУСТИСТОСТИ И ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

THE EFFECT OF SILICON COMPOUNDS ON TILLERING AND DONOR-ACCEPTOR RELATIONS IN SPRING BARLEY PLANTS GROWING UNDER DIFFERENT MOISTURE CONDITIONS

I. Slastya

Summary. The effect of seed treatment with silicon compounds — tetraethoxysilane (TES) and sodium silicate on tillering and donor-acceptor relations in barley plants of two types of varieties was studied: recommended for cultivation in the central part of Russia (Zazersky 85 and Bios 1) and the Lower Volga region (Kamyshinsky 23, Donetsky 8 and Prairie). It has been established that seed treatment with silicon compounds had a positive effect on donor-acceptor relations in barley plants of both variety types, while the effect on total and productive bushiness of barley depended more on the characteristics of the variety and conditions of moisture availability than on seed treatment.

Keywords: silicon, seed treatment, spring barley, water stress, drought, tillering, productive bushiness, donor-acceptor relations.

Сластя Ирина Васильевна

К.с.-х.н., доцент, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева
slasty@rgau-msha.ru

Аннотация. Изучали действие обработки семян соединениями кремния — тетраэтоксисилоном (ТЭС) и силикатом натрия на показатели кустистости и донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя двух сортов: рекомендованных для возделывания в средней полосе России (Зазерский 85 и Биос 1) и Нижневолжском регионе (Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия). Установлено, что обработка семян соединениями кремния оказывала положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя обоих сортов, при этом влияние на показатели общей и продуктивной кустистости ячменя в большей степени зависело от особенностей сорта и условий влагообеспеченности, чем от обработки семян.

Ключевые слова: кремний, обработка семян, яровой ячмень, водный стресс, засуха, продуктивная кустистость, донорно-акцепторные отношения.

Введение

Интерес к использованию соединений кремния для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур возник в первой половине двадцатого века сначала у японских исследователей [1], а впоследствии — и во всем мире, и до настоящего времени не ослабевает. Широкий интерес к кремнию связан с его положительным влиянием на рост, развитие, продуктивность, установленным для многих культур: зерновых [2–19], картофеля [19], овощных [20–22], злаковых трав [23] масличных [24], лекарственных [25], а также с его адаптогенным действием, способствующим повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам. Адаптогенные свойства помимо кремния присущи также селену, механизм действия которого связан с его антиоксидантной активностью [4, 6, 26], механизм же действия соединений кремния на растения остается до конца невыясненным. В последние годы растет число исследований, направленных на из-

учение природы и механизма действия кремнийсодержащих соединений на растения, установление причин высокой отзывчивости на их применение в условиях действия разнообразных стрессов — абиотических и биотических, таких как недостаток влаги [2, 3, 5, 7, 18, 23, 28, 30], недостаток питательных элементов [6], засоление почв [4, 7, 29, 30], недостаток освещенности [22], поражение болезнями и вредителями [1, 2, 11, 16, 22, 29–30].

Данные о повышении продуктивности растений при использовании кремниевых удобрений были впервые получены S. Yoshida [2]. Впоследствии было установлено, что эффективными являются также внесение кремния с поливной водой [7], обработка семенного материала [3, 4, 6, 9–16, 20, 30] и опрыскивание растений во время вегетации [13, 17, 21, 25, 29, 30], так как кремний может поступать в растения и через листья, например в форме силикатов [2], а также применение препаратов на основе наночастиц кремния [15, 22, 30].

Установлено положительное влияние кремнийсодержащих соединений на рост корневой системы и площади листовой поверхности растений [6, 8–10, 15, 17, 21, 27–29], реутилизацию питательных веществ [6], активность антиоксидантных ферментов [13, 22].

Некоторые авторы отмечали сортовые различия в отзывчивости исследуемых культур на применение соединений кремния [3, 12, 18, 22]. Сорты различались не только величиной прибавки урожая на применение разных соединений кремния, но и условиями вегетационных сезонов, в которых они были наибольшими, что свидетельствует о сложной связи между продуктивностью и факторами ее определяющими. Одними из таких факторов являются физиолого-биохимические и анатомо-морфологические особенности сортов, влияющие на формирование элементов продуктивности, одним из которых является продуктивная кустистость. В ряде исследований показано положительное действие кремния на величину продуктивных стеблей [5, 9, 11, 14], но вопрос о влиянии кремнийсодержащих соединений на соотношение показателей общей и продуктивной кустистости зерновых и связанные с ними донорно-акцепторные отношения в растениях, выращиваемых в разных условиях влагообеспеченности, является неизученным.

Целью данной работы является оценка влияния обработки семян соединениями кремния на показатели кустистости и донорно-акцепторные отношения в растениях ярового ячменя, выращиваемых в разных условиях влагообеспеченности.

Материалы и методы исследований

Вегетационные опыты проводили в вегетационном домике РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в сосудах Митчерлиха, вмещающих 5,5 кг воздушно-сухой почвы, в четырехкратной повторности с сортами ярового ячменя Зазерский 85 и Биос 1, рекомендованных для возделывания в Нечерноземной зоне РФ. Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая ($pH_{\text{сол.}}$ 4,2; гидролитическая кислотность — 60 мг-экв/кг почвы; 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. Доза извести (CaO), определенная по величине гидролитической кислотности, составляла 9,2 г на сосуд. Минеральные удобрения вносили в дозах (г/кг почвы): $N_{0,15}P_{0,15}K_{0,15}$.

Водный стресс создавали прекращением полива растений в период образования у ячменя 7-го листа (фаза выхода в трубку, появление третьего междоузлия) и поддерживали его до приближения влажности

почвы к влажности устойчивого завядания, затем полив возобновляли. Таким образом, моделировали условия засухи Северного типа, характерного для Нечерноземной зоны РФ.

Мелкоделяночные полевые опыты проводили в Камышинском районе Волгоградской области — в естественных условиях длительно действующего на растения водного дефицита — зоне сухой степи на яровом ячмене сортов Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия, рекомендованных для возделывания в Нижневолжском регионе. Почва опытного участка — каштановая легкосуглинистая. Содержание легкогидролизующего азота по Тюрину и Кононовой — 46,0, подвижного фосфора (P_2O_5) по Мачигину — 24, обменного калия (K_2O) по Мачигину — 210 мг/кг почвы, $pH_{\text{водн.}}$ — 6,7. Площадь делянки — 1 м². Повторность опыта трехкратная. Минеральные удобрения вносили под весеннюю культивацию в дозах (кг/га): $N30P30K30$.

Семена перед посевом обрабатывали тетраэтоксисиланом (ТЭС) — этиловым эфиром ортокремниевой кислоты (органическая форма кремния) и силикатом натрия (неорганическая форма кремния) в концентрации 0,4%. Семена обрабатывали из расчета 1,2 мл раствора на 100 г семян (12 л/т). В контрольном варианте семена обрабатывали водой.

Оценку влияния соединений кремния на кустистость ячменя проводили по коэффициентам продуктивной (K_p) и общей (K_o) кустистости, представляющими собой соответственно среднее количество продуктивных и всех (продуктивных и непродуктивных) стеблей в расчете на одно растение, и соотношению между ними (доле продуктивных стеблей). Донорно-акцепторные отношения в растениях характеризовали по отношению массы зерна к массе соломы в конце вегетации растений.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что при выращивании в нормальных условиях влагообеспеченности (полива) в вегетационном опыте обработка семян соединениями кремния в годы исследований не оказывала влияния на продуктивную кустистость, но способствовала незначительному росту общей кустистости ячменя сорта Зазерский 85, за счет чего доля продуктивных стеблей в среднем за три года несколько снижалась (табл. 1). При этом отношение массы зерна к массе соломы в вариантах с соединениями кремния оставалось на уровне контроля (табл. 3) за счет увеличения биомассы зерна: при обработке ТЭС — на 10,3%, силикатом натрия — 11,4% в среднем за три года, что свидетельствует

Таблица 1. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость в условиях полива (вегетационный опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости								Кп: Ко
	Кп		Ко		Кп		Ко		
	2005 г.		2006 г.		2007 г.		Среднее		
Зазерский 85									
Контроль	1,05	1,86	1,16	2,11	1,12	1,95	1,11	1,97	0,56
ТЭС	1,00	1,92	1,15	2,30	1,10	2,08	1,08	2,10	0,51
Силикат натрия	1,10	1,98	1,22	2,28	1,12	2,06	1,15	2,11	0,54
Биос 1									
Контроль	1,18	1,96	1,28	2,25	1,22	2,08	1,23	2,10	0,58
ТЭС	1,15	1,88	1,25	2,11	1,18	1,92	1,19	1,97	0,60
Силикат натрия	1,12	1,90	1,16	2,15	1,08	1,97	1,12	2,01	0,56
НСР _{0,95} ч.р.	-	-	0,10	0,14	0,14	0,15			

Таблица 2. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость растений в условиях водного стресса (вегетационный опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости						Кп: Ко
	Кп		Ко		Кп		
	2006 г.		2007 г.		Среднее		
Зазерский 85							
Контроль	1,29	2,42	1,25	2,33	1,27	2,38	0,53
ТЭС	1,42	2,64	1,38	2,52	1,40	2,58	0,54
Силикат натрия	1,40	2,64	1,33	2,48	1,36	2,56	0,53
Биос 1							
Контроль	1,52	2,68	1,40	2,40	1,46	2,54	0,57
ТЭС	1,58	2,56	1,45	2,28	1,52	2,42	0,63
Силикат натрия	1,49	2,60	1,35	2,32	1,42	2,46	0,58
НСР _{0,95} ч.р.	0,09	0,16	0,12	0,18			

о положительном влиянии обработки на перераспределение пластических веществ из соломы в зерно.

У сорта Биос 1 применение ТЭС в нормальных условиях влагообеспеченности не оказало значительного влияния на общую и продуктивную кустистость, наблюдалась лишь тенденция к снижению общей кустистости, в результате чего доля продуктивных стеблей в среднем за три года несколько увеличилась, наблюдалось и увеличение отношения массы зерна к массе соломы (табл. 1, 3). Прибавка биомассы зерна по отношению к контролю в среднем за годы исследований составила 11,9%. Применение силиката натрия способствовало снижению продуктивной кустистости, при этом средняя прибавка урожая зерна в годы исследований составила 15,7%, но была получена, главным образом, за счет увеличения массы 1000 зерен и массы зерна с колоса при возрастании отношения массы зерна к массе соломы. Таким образом, применение обеих форм кремния

на сорте Биос 1 приводило к увеличению доли хозяйственно ценной части урожая (табл. 3).

Водный стресс способствовал значительному снижению биомассы зерна у обоих сортов: сорта Зазерский 85 в среднем за два года исследований на 46,4%, сорта Биос 1 — на 50,4%. При этом у обоих сортов увеличивалась общая кустистость (табл. 2), что может быть объяснено компенсаторными реакциями растений и формированием подгона при возобновлении полива после периода засухи. Это приводило к увеличению биомассы соломы в структуре урожая. В среднем за годы исследований у сорта Зазерский 85 масса соломы увеличилась на 11,8%, у сорта Биос 1 — на 9,9%, что более чем в 2 раза снизило долю зерна в общей биопроductивности (табл. 3).

Несмотря на близкое по величине снижение урожая зерна под влиянием засухи у двух сортов, влияние

Таблица 3. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на отношение массы зерна к массе соломы в разных условиях влагообеспеченности (вегетационный опыт)

Вариант	Полив			Засуха	
	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.
Зазерский 85					
Контроль	0,64	0,69	0,80	0,37	0,31
ТЭС	0,63	0,70	0,77	0,41	0,32
Силикат натрия	0,66	0,72	0,79	0,45	0,34
Биос 1					
Контроль	0,62	0,71	0,69	0,31	0,34
ТЭС	0,76	0,83	0,79	0,34	0,37
Силикат натрия	0,77	0,87	0,81	0,37	0,37
НСР _{0,95} ч.р.	0,04	0,05	0,08	0,04	0,05

Таблица 4. Влияние обработки семян разных сортов ячменя соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость растений в условиях сухой степи Нижнего Поволжья (мелкоделяночный полевой опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости								Кп: Ко
	Кп	Ко	Кп	Ко	Кп	Ко	Кп	Ко	
	2005 г.		2006 г.		2007 г.		Среднее		
Камышинский 23									
Контроль	1,96	2,60	2,45	4,63	2,74	4,08	2,38	3,77	0,63
ТЭС	1,86	2,51	2,42	4,26	2,61	3,83	2,30	3,53	0,65
Силикат натрия	2,05	2,48	2,68	4,34	2,92	3,92	2,55	3,58	0,71
Донецкий 8									
Контроль	2,11	2,67	2,40	3,37	2,48	3,32	2,33	3,12	0,75
ТЭС	2,20	2,70	2,55	3,58	2,63	3,53	2,46	3,27	0,75
Силикат натрия	2,25	2,69	2,65	3,64	2,60	3,45	2,50	3,26	0,77
Прерия									
Контроль	1,94	2,60	2,43	3,49	2,52	3,54	2,30	3,21	0,72
ТЭС	1,81	2,35	2,35	3,45	2,45	3,42	2,20	3,07	0,72
Силикат натрия	1,63	2,04	2,22	3,36	2,39	3,24	2,08	2,88	0,72
НСР _{0,95} ч.р.	0,17	0,20	-	-	-	-			

соединений кремния на показатели кустистости у них различалось. У сорта Зазерский 85 обработка семян обоими веществами приводила к увеличению и общей, и продуктивной кустистости, а у сорта Биос 1 — существенно не влияла на них. Прибавки урожая зерна в среднем за годы исследований у сорта Зазерский 85 при обработке ТЭС составили 15,7%, при обработке силикатом натрия — 20,8%, на сорте Биос 1 — соответственно 15,1 и 17,4%. У обоих сортов в вариантах с применением соединений кремния увеличивалось отношение биомассы зерна к биомассе соломы при сравнении с контролем.

Исследования с сортами ячменя степного сортотипа, проведенные в условиях сухой степи Нижнего По-

волжья, показали, что сорта различались диапазоном показателей кустистости в годы исследований (табл. 4). Наибольшей вариабельностью отличался сорт Камышинский 23, у которого коэффициенты продуктивной кустистости различались в 1,4 раза, общей — в 1,8 раза. Максимальные значения показателей кустистости были в наиболее влажном 2006 году, когда значительная часть осадков выпала в период кущения ячменя.

Большой потенциал кустистости сорта, реализующийся во влажные годы, может обеспечить более высокие прибавки урожая, связанные с увеличением числа продуктивных стеблей, но сорт является и более уязвимым в годы, когда после достаточного количества осадков в период кущения наступают засушливые условия,

Таблица 5. Влияние обработки семян ячменя разных сортов соединениями кремния на отношение массы зерна к массе соломы в условиях сухой степи Нижнего Поволжья (мелкоделяночный полевой опыт)

Вариант	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Камышинский 23			
Контроль	0,82	0,58	0,38
ТЭС	0,75	0,58	0,39
Силикат натрия	0,84	0,62	0,41
Донецкий 8			
Контроль	0,94	0,72	0,49
ТЭС	0,93	0,74	0,50
Силикат натрия	0,98	0,76	0,51
Прерия			
Контроль	0,77	0,56	0,42
ТЭС	0,83	0,52	0,44
Силикат натрия	0,86	0,63	0,46
НСР _{0,95} ч.р.	0,04	0,04	0,03

и растения испытывают большую потребность во влаге в связи с большей вегетативной массой. Засуха вызывает напряжение донорно-акцепторных отношений в растениях, замедляя отток ассимилянтов в зерно, что находит отражение в изменении отношения массы зерна к массе соломы. Наибольшим у всех сортов оно было в умеренно засушливом 2005 году (табл. 5), когда количество осадков в период кушения было меньшим, чем в другие годы исследований, что привело к меньшей кустистости растений, но в целом за вегетационный сезон оно было достаточным для формирования зерна.

Вегетационный сезон 2007 года был самым неблагоприятным: раскутившиеся растения страдали от наступившей в середине мая сильной и длительной засухи, что привело к снижению урожайности и значительному уменьшению доли зерна в общей продуктивности. Урожайность сортов Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия составляла в 2007 году соответственно 14,1; 14,8 и 15,2 ц/га в контрольном варианте. Во влажном 2006 году максимальная продуктивность была у сорта с наибольшими показателями кустистости — Камышинский 23—49,2 ц/га в контрольном варианте, что превышало урожайность 2007 года в 3,5 раза. Урожайность сортов Донецкий 8 и Прерия во влажном году также была выше, чем в другие годы — 47,7 и 42,2 ц/га соответственно. Но так как в этом году у всех сортов была наибольшей и биомасса соломы, то доля хозяйственно ценной части продукции — зерна оказалась значительно ниже, чем в 2005 году (табл. 5), но при этом она была значительно выше, чем в 2007 году, что говорит о значительной роли донорно-акцепторных отношений в формировании зерновой продуктивности.

При обработке семян ТЭС наблюдалась тенденция к снижению общей и продуктивной кустистости у сортов Камышинский 23 и Прерия и, наоборот — повышению — у сорта Донецкий 8. Прибавки урожая в среднем три года составляли: у сорта Донецкий 8—12,9%, Прерия — 9,9%. У сорта Камышинский 23 достоверная прибавка урожая была получена только в 2007 году — 10,6% по отношению к контролю. Обработка не оказала значительного влияния на соотношения зерна и соломы.

Обработка семян силикатом натрия также по-разному влияла на кустистость сортов, у сорта Камышинский 23 увеличивая продуктивную кустистость, а у сорта Прерия снижая ее. У обоих сортов при этом наблюдалось снижение общей кустистости, в результате чего доля продуктивных стеблей у сорта Камышинский 23 выросла с 0,63 до 0,71. Зерновая продуктивность при этом выросла в среднем за годы исследований у сорта Камышинский 23 на 15,4%, Донецкий 8—12,5%, Прерия —11,0% по отношению к контролю. Обработка способствовала увеличению отношения массы зерна к массе соломы, особенно у сорта Прерия.

Таким образом, результаты исследований показали, что обработка семян соединениями кремния оказывала положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя разных сортов двух сорто-типов при выращивании в разных условиях влагообеспеченности, при этом влияние на показатели общей и продуктивной кустистости ячменя в большей степени зависело от особенностей сорта и условий влагообеспеченности, чем от обработки семян.

Заключение

В результате исследований установлено, что обработка семян соединениями кремния может приводить как к увеличению, так и к уменьшению общей и продуктивной кустистости, при выращивании, как в нормальных условиях влагообеспеченности, так и в условиях водного дефицита, что определяется особенностями возделываемого сорта. Засуха способствовала увеличению общей и продуктивной кустистости ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1, главным образом за счет подгона, что связано с компенсаторными реакциями растений на водный стресс. Прибавки урожая зерна не всегда были связаны с ростом продуктивной кустистости, что отмечалось у сорта Биос 1 в нормальных условиях влагообеспеченности, когда применение силиката на-

трия снижало продуктивную кустистость, прибавки урожая получены за счет других элементов продуктивности. В условиях водного дефицита применение ТЭС и силиката натрия оказывало положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1, а в нормальных условиях влагообеспеченности — только сорта Биос 1, при этом действие силиката натрия было выражено сильнее. У трех сортов степного сортотипа только обработка силикатом натрия приводила к увеличению доли зерна в общей биопродуктивности. Положительное влияние соединений кремния на донорно-акцепторные отношения способствовало не только увеличению доли хозяйственно ценной части урожая, но и снижению негативного действия на растения водного стресса и повышению урожайности ячменя.

ЛИТЕРАТУРА

- Miyake Y., Ikeda M. Influence of silica application on rice blast // *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1932. № 6. P. 53–76.
- Алешин Н.Е. О биологической роли кремния у риса // *Вестн. с.-х. науки.* 1988. Т. 10. С. 77–85.
- 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.* С. 135–136.
- Верничко И.В. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченого ¹⁵N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания / И.В. Верничко, Л.В. Осипова, П.А. Яковлев, И.А. Быковская, В.А. Литвинский // *Агрохимия.* 2017. № 3. С. 10–19.
- Зейслер Н.А. Влияние кремнийорганических регуляторов роста на продуктивность овса посевного // *Science Time.* 2016. № 1(25). С. 164–169.
- Курносова Т.Л. Влияние биогенных элементов на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя (*Hordeum Vulgare L.*) в различных условиях выращивания / Т.Л. Курносова, Л.В. Осипова, И.В. Верничко, Л.В. Ромодина, И.А. Быковская // *Проблемы агрохимии и экологии.* 2019. № 1. С. 14–20.
- Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Шабнова Н.И., Бочаникова Е.А. Реакция растений на кремниевые удобрения при засолении почвы // *Агрохимия.* 2005. № 10. С. 59–63.
- Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дис. . . д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с.
- Мнатсакяня А.А. Урожайность и биометрические показатели озимой пшеницы в зависимости от препарата на основе кремния // *Плодородие.* 2020. № 4 (115). С. 44–47.
- Серегина И.И., Ниловская Н.Т., Баранов А.В. Продуктивность, фотосинтетическая деятельность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении силиката калия // *Агрохимия.* 2014. № 4. С. 60–69.
- Сластя И.В., Дорожкина Л.А., Беденко Г.В. Использование ТЭС для повышения экологической безопасности применения пестицидов при протравливании семян ячменя // *Агро XXI.* 1998. № 9. С. 10–11.
- Сластя И.В. Оценка отзывчивости различных сортов ячменя на обработку кремнийсодержащими веществами // *Доклады ТСХА.* 2006. № 278. С. 676–680.
- Самсонова Н.Е., Капустина М.В., Зайцева З.Ф. Влияние соединений кремния и минеральных удобрений на урожайность яровых зерновых культур и содержание в них антиоксидантных ферментов // *Агрохимия.* 2013. № 10. С. 66–74.
- Самсонова Н.Е., Козлов Ю.В., Зайцева З.Ф., Шупинская И.А. Эффективность соединений кремния при обработке семян и растений кукурузы (*Zea Mays L.*) // *Агрохимия.* 2017. № 1. С. 12–18.
- Хорошилов А.А., Павловская Н.Е., Бородин Д.Б., Яковлев И.В. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и химическим препаратами // *Сельскохозяйственная биология.* 2021. Т. 56. № 3. С. 487–499.
- Шмакова Н.В. Эффективность применения соединений кремния и их смесей с фунгицидами на яровой пшенице в Среднем Предуралье: дис. . . канд. с.-х. наук. Москва, 2003. 151 с.
- Шупинская И.А., Самсонова Н.Е., Антонова Н.А. Влияние корневого и фолиарного питания растений минеральными удобрениями и соединениями кремния на показатели фотосинтетической деятельности и урожайность зерна яровой пшеницы // *Агрохимия.* 2017. № 2. С. 11–18.
- Прусакова Л.Д. Антистрессовые функции экоста и эпибрасинолида на яровой пшенице в условиях центральной нечерноземной зоны / Л.Д. Прусакова, С.И. Чижов, Н.Н. Третьяков, Л.Ф. Агеева, Е.Н. Голанцева, А.Ф. Яковлев // *Аграрная Россия.* 1999. № 1. С. 39–41.
- Козлов А.В., Уромова И.П., Куликова А.Х. Влияние кремнийсодержащих стимуляторов роста на биологическую продуктивность и показатели качества озимой пшеницы и картофеля // *Вестник Минского университета.* 2016. № 1–1(13). С. 31.

20. Сармосова А.Н. Эффективность использования новых биологически активных веществ на белокочанной капусте // Инновации молодых ученых — сельскому хозяйству: мат. всерос. конф. / М., 2006. Ч. 1. С. 243–247.
21. Ермаков Е.И., Мухоморов В.К. Антистрессовое воздействие кремнийсодержащего хелатного микроудобрения на растения при некорневой обработке в защищенном грунте // Гавриш. 2001. № 3. С. 16–18.
22. Удалова Ж.В., Зиновьева С.В. Влияние наночастиц кремния на активность антиоксидантных ферментов в корнях томатов при инвазии галловой нематодой *Meloidogone Incognita* (Kofoid et White, 1919) Chitwood, 1949 // Доклады российской академии наук. Науки о жизни. 2022. Т. 506. № 1. С. 349–353.
23. Eneji E. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers / E. Eneji, S. Inanaga, S. Muranaka, J. Li, T. Hattori, P. An, W. Tsuji // J. Plant Nutr. 2008. 31(2). P. 355–365.
24. Сафронкин А.Е. Приемы возделывания рыжика озимого (*Camelina Sp.*) в лесостепи Среднего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2016. 135 с.
25. Пушкина Г.П., Сидельников Н.И. Роль кремния в повышении биопродуктивности и адаптации лекарственных культур к засушливым погодным условиям // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 249–252.
26. Серегина И.И., Верниченко И.В., Ниловская Н.Т., Шумилин А.О. Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена // Агрохимия. 2015. № 3. С. 56–63.
27. Ермолаев А.А. Кремний в сельском хозяйстве. М: Линф, 1992. 256 с.
28. Лось С.Л., Борздыко Е.В., Анищенко Л.Н., Прохоренко Ф.В. Устойчивость культурных растений к биотическим стрессам в условиях модельного использования препарата «Ковелос» // Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 13th International Academic Conference / St. Louis, 2017. С.11–18.
29. Chanchal M.C.H., RitiThapar K., Deepak G. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation // Sci. Agricult. 2016. V. 13. № 2. P. 59–73.
30. Wang L., Ning C., Pan T., Kunzheng Cai K. Role of Silica Nanoparticles in Abiotic and Biotic Stress Tolerance in Plants: A Review // Int. J. Mol. Sci. 2022. 23. 1947.

© Сластя Ирина Васильевна (slasty@rgau-msha.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева