

УДК 633.11:631.816

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ, УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ

*Самсонова Н.Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА», e-mail: n_samsonova@list.ru*

*Новикова Н.Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ имени Н.В. Парихина»,
e-mail: novik302@mail.ru*

Ключевые слова: *кремний, яровая пшеница, морфология, урожайность, качество урожая.*

Приведены экспериментальные данные по эффективности кремнийсодержащих соединений для внесения в почву и некорневой подкормки растений. Внесение цеолита в дерново-подзолистую почву повысило механическую прочность стеблей яровой пшеницы, урожайность и качество зерна. Некорневая подкормка силиплантом положительно сказалась только на прочности стеблей. Совместное использование некорневой подкормки и внесения в почву цеолита оказалось нецелесообразным.

Введение. Кремний является наиболее распространенным элементом земной коры и важным элементом растительных и животных организмов. При его недостатке растения склонны к нарушениям роста и развития, особенно в стрессовых ситуациях биотического и абиотического генеза. Дефицит кремния ограничивает рост корней, их массу, общую и адсорбирующую поверхность [1]. Под его действием утолщаются стебли злаковых культур, повышается прочность их тканей и устойчивость посевов к полеганию [2-3], снижается опасность повреждения растений болезнями и вредителями. Кремний способствует формированию большей листовой поверхности, биосинтезу пластидных пигментов, росту продуктивности фотосинтеза [4], повышению оводненности тканей, их водоудерживающей способности, что сохраняет гомеостаз в условиях засухи [5]. Есть предположение, что кремний может вступать в конкуренцию с железом, марганцем, алюминием, медью, мышьяком, фенолами, предотвращая их избыточное поступление в растения [6].

Повышение устойчивости растений к неблагоприятным условиям в присутствии кремния объясняется также регулированием активности

нитратредуктазы, пероксидазы, фосфатазы, инвертазы, синтезом антиоксидантов специфической и неспецифической природы [7–9].

Кремний оказывает положительное влияние на качество урожая, что показано на 30 видах сельскохозяйственных культур (зерновых, фруктовых и овощных). Под его действием установлено повышение содержания углеводов в сахарной свекле, картофеле, снижение накопления нитратов и тяжелых металлов в овощной продукции и зерне яровой пшеницы [10–11]. Кремний способствовал накоплению сырого протеина в зерне и зеленой массе кукурузы [12], при физиологическом стрессе – повышал качество плодов томата [13], благотворно влиял на урожайность, качество и сроки хранения винограда, выращенного на карбонатной почве [14].

Источники кремниевого питания растений немногочисленны и кроме почвы представлены, главным образом, вносимыми в нее природными материалами (цеолитами, трепелами, опоками) и отходами промышленности (металлургическими шлаками, золой бурых углей, цементной пылью и др.), многие из которых вызывают опасения экологического характера.

В последние годы появились препараты для предпосевной обработки семян и некорневого питания растений – Силактив, Силиплант, Кремневит, ПроникСила (Россия), Квантум-аквасила (Украина), Келик-K-Si, Контролфит-Si (Испания), препараты торговой марки Zum Sil (Новая Зеландия).

Целью настоящего исследования было изучение влияния корневого и фолиарного поступления кремния в растения яровой пшеницы на их фенотипические признаки, величину и качество урожая зерна.

Материалы и методы исследования. В 2014–2016 гг. проведено исследование с яровой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) сорта Любава по изучению эффективности внесения в почву 0.5 т/га удобрения (ТУ 2163-004-55353725-2009) на основе Хотынецкого цеолита (далее – цеолит) и некорневой подкормки растений (OP-обработка растений) в фазу кущения рекомендуемой дозой силипланта.

При обработке растений силиплантом доза Si составила 60 г/га. Содержание подвижного кремния в цеолите 7–8.9%, с дозой 0,5 т/га в почву поступило 40 кг/га подвижного кремния.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая характеризовалась слабокислой (2014 г.), близкой к нейтральной и нейтральной реакцией среды (2015–2016 гг.), содержанием гумуса 1.7–1.8% (по Тюрину), повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия по

Кирсанову. Это генетически обедненная кремнием почва: содержание SiO_2 в вытяжке 0,01 н KCl – 22 мг/кг, в вытяжке 0,1 н HCl – 117 мг/кг. Ориентировочный уровень активного кремния – 337 мг/кг в соответствии с [15] классифицировался как дефицитный. Содержание подвижных форм бора, меди и молибдена в почве оценивалось как среднее, цинка – низкое, марганца – высокое.

Повторность – 4-х кратная, размещение вариантов – систематическое. Схема опыта: 1 – Контроль (без удобрений); 2 – N60P60K60-фон; 3 – Фон + силиплант (ОР); 4 – Цеолит; 5 – Цеолит + силиплант (ОР). Фоновым удобрением служила АЗФК. Учетная площадь делянки – 5 м².

Измеряли линейный рост растений (рулеткой), диаметр второго междоузлия стеблей (штангенциркулем), суммарную площадь флагового и предфлагового листа (методом высечек), урожайность (методом пробного снопа), массу 1000 зерен (весовым методом). Содержание белка в зерне определяли методом Кьельдаля с использованием дегистора компании FOSS DT208 и дистилляционного блока Kjeltec 8200.

Достоверность различий оценивали по результатам статистической обработки экспериментальных данных методом дисперсионного анализа по Доспехову.

Результаты и обсуждение. На линейный рост растений существенное влияние оказало NPK-удобрение и цеолит: к фазе молочной спелости зерна высота растений на 5–6 см превзошла контрольные (табл. 1), тогда как некорневая подкормка растений силиплантом на фоне АЗФК не повлияла на высоту растений, а на фоне цеолита достоверно ее снизила. С точки зрения механической устойчивости растений важным показателем является диаметр стебля, длина второго междоузлия и соотношение этих величин, которое характеризует механическую прочность стеблей на излом.

Внесение в почву цеолита и некорневая подкормка растений силиплантом оказали существенное влияние на эти показатели. В варианте с цеолитом второе междоузлие оказалось на 15 мм короче, чем на контроле, и на 8 мм – чем на NPK-фоне. Подкормка растений силиплантом достоверно способствовала его укорачиванию только при использовании на фоне NPK-удобрения. Одновременно отмечено утолщение стебля. В результате устойчивость растений на излом повысилась (отношение $h:d$ – при внесении цеолита оказалось на 8 ед. меньше, чем на контроле, и на 5 ед. – чем при использовании NPK-удобрения). Отсутствие действия подкормки на фоне цеолита может свидетельствовать о достаточности питания растений кремнием.

Таблица 1 – Изменение фенотипических признаков растений яровой пшеницы Любава (молочная спелость, среднее за 2014–2016 гг.)

Вариант	Высота растений, см	Длина второго междоузлия, мм (<i>h</i>)	Диаметр второго междоузлия, мм (<i>d</i>)	<i>h:d</i>	Площадь листьев, см ² /растение	
					2014 г.	2015 г.
Контроль (без удобрений)	106	126	3,7	34	138	144
N60P60K60 – фон	111	119	3,9	31	144	159
Фон + силиплант (ОР)	111	114	4,0	29	187	179
Цеолит	112	111	4,2	26	152	165
Цеолит + силиплант (ОР)	103	108	4,0	27	–	153
NCP _{0,5}	1,04	4,5	0,2		12	14

Важнейшим фактором эффективного усвоения солнечной энергии растениями является площадь листовой поверхности. В 2014 г. при отсутствии фунгицидной обработки растения были поражены бурой ржавчиной и фузариозом, площадь листьев в целом оказалась на 4–10% меньше, чем в 2015 г., когда защита растений от болезней была полноценной. Внесение цеолита в оба года оказало достоверное положительное влияние на площадь фотосинтетического аппарата, увеличив ее на 10–15% по отношению к контролю.

Эффективность некорневой подкормки растений силиплантом на фоне NPK-удобрения в оба года достоверно превзошла действие фонового удобрения: площадь листьев оказалась больше на 12–30% с лучшим показателем в год поражения растений болезнями (2014 г.), что косвенно свидетельствует о защитной функции кремния при неблагоприятных условиях выращивания. На фоне цеолита подкормка некорневая подкормка растений не оказала положительного влияния на площадь листьев.

Изменение условий питания положительно сказалось на урожайности зерна. В среднем за 3 года максимальный эффект получен при внесении в почву цеолита: урожайность на 70% выше, чем на контроле и на 30% – чем на NPK-фоне (табл. 2). Рост урожайности был обеспечен

Таблица 2 – Изменение урожайности зерна яровой пшеницы под действием внесения в почву цеолита и некорневой подкормки растений силиплантом

Вариант	Урожайность, т/га				Среднее за 2014-2016 гг.		
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред- няя	масса 1000 зерен, г	число зерен в колосе, шт.	масса зерна в коло- се, г
Контроль (без удобр.)	3,6	4,6	4,2	4,1	46,5	19	1,1
Н60Р60К60 – фон	4,0	5,6	4,7	4,8	47,5	21	1,3
Фон + силиплант (ОР)	4,4	6,0	5,1	5,2	48,2	21	1,4
Цеолит	5,8	7,8	7,4	7,0	50,0	27	1,7
Цеолит + силиплант (ОР)	–	6,4	6,5	6,5	48,5	27	1,5
НСР _{0,5}	1.4	1,0	1,1				

формированием более крупных зерен, большей численностью и массой зерна в колосе. В этом варианте было получено зерно с большим содержанием белка и максимальным его сбором урожаем (рис.1).

Такое эффект цеолита может быть объяснен дефицитным уровнем содержания в почве доступного растениям Si, а также защитным действием кремния, особенно в стрессовых условиях выращивания растений, и физико-химическими свойствами цеолита: высокой водоудерживающей способностью и максимальной среди природных сорбентов обменной емкостью.

Некорневая подкормка растений силиплантом на фоне NPK-удобрения и цеолита не привела к достоверному росту урожайности и не ухудшила качество зерна (рис.1).

Таким образом, использование высококремнистого цеолита в условиях дерново-подзолистых почв является эффективным приемом повышения механической прочности стеблей, роста урожайности и качества зерна яровой пшеницы. Некорневая подкормка растений силиплантом повысила только механическую прочность стеблей, но не сказалась на урожайности и качестве зерна.

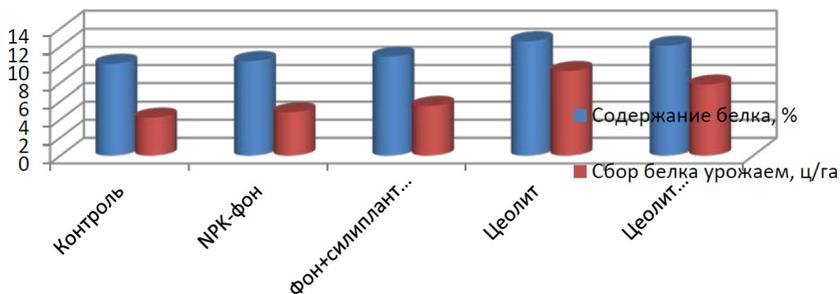


Рисунок 1 – Содержание белка в зерне и сбор его урожай яровой пшеницы

Заключение. Кремний, являясь одним из самых распространенных элементов в природе, представляет большой интерес в земледелии, так как способствует росту урожаев, повышению качества продукции, защите растений от стрессов биотической и абиотической природы. Кремнийсодержащие соединения можно использовать как для внесения в почву, так и для некорневой подкормки растений.

Трехлетнее испытание эффективности высококремнистого цеолита на кремний-дефицитной почве при выращивании яровой пшеницы свидетельствует о повышении механической прочности главного побега, повышении урожайности и улучшении качества зерна. Рост урожайности был обеспечен формированием более крупных зерен, большей численностью и массой зерна в колосе.

Использование для некорневой подкормки растений отечественного препарата силипланта в фазу кущения на фоне N60P60K60 позволило повысить механическую прочность стеблей, что должно защищать растения от полегания в условиях ветровых нагрузок, но не сказалось на урожайности и качестве зерна. Совместное использование некорневой подкормки растений силиплантом и внесения в почву цеолита нецелесообразно.

Библиографический список:

1. Adatia M.H., Besford R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution//Ann. Bot. J., 1986. V. 58. P. 343–351.
2. Капранов В.Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений и урожайность зерновых культур // Агрохимия, 2009. № 7. С. 34–43.

3. Самсонова Н.Е., Козлов Ю.В., Капустина М.В., Денисова И.И., Антонова Н.А., Шупинская И.А. Эффективность природного высококремнистого цеолита при выращивании кукурузы в условиях Западной части Центрального Нечерноземья // *Агрехимия*, 2016. № 3. С. 23–31.
4. 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 // *Агрехимия*, 2017. № 1. С. 11–18.
5. Самсонова, Н.Е., Антонова, И.А., Шупинская, И.А. Влияние цеолита и минеральных удобрений на водный режим растений и урожайность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Агрехимия*, 2016. № 10. С. 48–55.
6. Clack R.B., Gourley L.M., Maranville I.V. Silicon interaction with manganese and aluminium toxicity of sorghum // *Plant nutr.*, 1987. V. 10. № 9-16. P. 1139.
7. Yongxing Zhu, Haijun Gong. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants / *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, V. 34. P. 455–472.
8. Новикова Н.Е., Косякова Т.В. Элементы физиолого-биохимической адаптации гороха посевного (*Pisum sativum* L.) под влиянием соединений кремния // В сборнике: Актуальность идей В.Н. Хитрово в исследовании биоразнообразия России, Орел, 2014. С. 266-269.
9. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние соединений кремния на процесс прорастания семян гороха и защиту проростков от окислительных повреждений // *Вестник аграрной науки*, 2020. №2 (83) С. 21–28.
10. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 175 с.
11. Янишевская О.Л., Ягодин Б.А. Влияние кремния, марганца и хрома на продуктивность и некоторые показатели качества товарной продукции овощных культур // *Агрехимия*, 2000. № 5. С. 47-51.
12. Козлов Ю.В., Самсонова Н.Е., Новикова Н.Е. Сравнительная оценка мивала-агро, брассиностероидных препаратов и протравителя семян при выращивании яровых зерновых на дерново-подзолистой почве // *Вестник ОрелГАУ*, 2010. Т.23. № 2. С 54–59.
13. Carballo-Méndez F.J., Olivares-Saenz E., Vázquez-Alvarado R.E., Zavala-García F., Bolívar-Duarte M., Benavides-Mendoza A. Silicon improves the quality of fruits of *Solanum lycopersicum* Mill. subjected to saline

stress//7-th International Conference on Silicon in Agriculture. Proceedings of abstracts, 2017. P. 64.

14. Chu Guixina, Zhang Mei, Liang Yongchao. Applying silicate fertilizer increases both yield and quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) grown on calcareous grey desert soil//7-th International Conference on Silicon in Agriculture. Proceedings of abstracts, 2017. P. 129.
15. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния// Агрoхимия. 2007, № 7. С. 22–27.

CHANGE OF MORPHOLOGY, YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT UNDER THE ACTION OF SILICON COMPOUNDS

Samsonova N. E., Novikova N.E.

Key words: *silicon, spring wheat, morphology, productivity, crop quality.*

Experimental data on the effectiveness of silicon-containing compounds for application to the soil and foliar feeding of plants are presented. The introduction of zeolite into the sod-podzolic soil increased the mechanical strength of spring wheat stalks, yield and grain quality. Foliar feeding with siliplant had a positive effect only on the strength of the stems. The combined use of foliar feeding and the introduction of zeolite into the soil turned out to be impractical.