Исследование влияния кремния на биометрию проростков яровой пшеницы

Юлия Дмитриевна Смирнова, Галина Юрьевна Рабинович

ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», г. Москва, Россия
ulayad@yandex.ru

Аннотация. В последнее десятилетие активно обсуждаются основные функции кремния в растениеводстве – усиление физико-химических свойств и биохимических процессов в растениях, защита растений от биотических и абиотических стрессов. Цель данной работы – изучение влияния кремнийсодержащего препарата на биометрические параметры яровой пшеницы, выращиваемой в условиях абиотического стресса. Кремнийсодержащий препарат, обозначенный БоГум-С, получен на основе гуминового препарата БоГум и водорастворимой соли кремния – метасиликата натрия, с содержанием SiO_2 28 %. Было проведено исследование препарата с содержанием 0,05, 0,1, 0,5 и 2,5 % масс. концентрации по SiO_2 . БоГум-С применяли для предпосевной обработки семян и опрыскивания проростков яровой пшеницы на фоне моделирования двух видов водных стресса: засухи и переувлажнения. Наибольшее влияние препарата на биометрические показатели яровой пшеницы отмечено при использовании БоГум-С с содержанием оксида кремния 0,1 %, эффект от которого следует считать синергетическим действием, сложным из свойств гуминовых кислот и кремния. В целом, выявлено преимущество приема опрыскивания проростков перед замачиванием семян, выраженное в большей частоте достоверных приростов биометрических показателей проростков пшеницы. Опрыскивание проростков БоГум-С [0,1 %] при имитировании засухи способствовало увеличению сырой и сухой биомасс проростков на 19,2 и 15,0 %, а при повышенной влажности – на 13,0 и 11,1 % по сравнению с вариантом без обработок.

Ключевые слова: кремний; стресс; пшеница; проростки; биометрические показатели.

Для цитирования: Смирнова Ю. Д., Рабинович Г. Ю. Исследование влияния кремния на биометрию проростков яровой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 50–53. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp50-53>.

AGRONOMY

Original article

Investigation of the effect of silicon on the biometrics of spring wheat seedlings

Yulia D. Smirnova, Galina Yu. Rabinovich

FRC V. V. Dokuchaev Soil Sciences Institute, Moscow, Russia
ulayad@yandex.ru

Abstract. In the last decade, the main functions of silicon in plant growing have been actively discussed - strengthening the physico-chemical properties and biochemical processes in plants, protecting plants from biotic and abiotic stresses. The aim of this work is to study the effect of a silicon-containing preparation on the biometric parameters of spring wheat grown under abiotic stress. A silicon-containing preparation, designated BoHum-S, was obtained on the basis of a humic preparation BoHum and a water-soluble silicon salt - sodium metasilicate, with a SiO_2 content of 28%. A study was conducted of the preparation containing 0.05, 0.1, 0.5 and 2.5% of the mass. concentration for SiO_2 . BoHum-S was used for pre-sowing seed treatment and spraying of spring wheat seedlings against the background of modeling two types of water stress: drought and waterlogging. The greatest effect of the drug on the biometric parameters of spring wheat was observed when using BoHum-S with a silicon oxide content of 0.1%, the effect of which should be considered a synergistic effect, composed of the properties of humic acids and silicon. In general, the advantage of spraying seedlings over soaking seeds was revealed, expressed in a higher frequency of reliable increases in biometric indicators of wheat seedlings.

Keywords: silicon; stress; wheat; seedlings; biometric indicators.

For citation: Smirnova Yu. D., Rabinovich G. Yu. Investigation of the effect of silicon on the biometrics of spring wheat seedlings // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(11):50–53. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp50-53>.

Введение. Кремний – это второй по распространенности на Земле элемент после кислорода, на него приходится треть твердой фазы почвы, но он имеет дифференцированное распределение – в зависимости от типа почвы количество Si значительно колеблется (от 1 до 45 %). Он активизирует множество физиологических и обменных процессов в растениях, поэтому кремнийсодержащие удобрения и препараты приобретают все большее значение в сельском хозяйстве [1, 4]. Основная роль для роста и развития растений – это усиление физико-механических свойств за счет включения Si в клеточные стенки растений. Сообщается также о таких полезных эффектах кремния, как повышение фотосинтетической активности, снижение воздействия токсичности тяжелых металлов, устранение дисбаланса питательных веществ и т.д. [7, 8]. Основной и наиболее значимой функцией кремния является повышение устойчивости культур к абиотическим стрессам, включая засуху. Кремний увеличивает содержание воды в растениях, стимулирует образование слоя кремнеземной кутикулы растений, что снижает потерю воды [11, 12]. Из-за осаждения Si в клеточных стенках изменяются ее свойства – снижается устойчивая проводимость [9, 10].

Кремний в основном поглощается корнями и листьями растений в форме монокремниевой кислоты или ее аниона. При производстве препаратов и удобрений, содержащих кремний, используют растворимые силикаты, аморфные частицы SiO_2 , природные источники (диатомиты и цеолиты). Коммерческие препараты используют для непосредственного внесения в почву, для предпосевной обработки семян и некорневой обработки вегетирующих растений. Применение Si любым из этих способов благотворно отражается на развитии сельскохозяйственных культур, их урожайности и качестве товарной продукции [3, 5]. Например, на базе Ульяновского ГАУ в 2014–2016 гг. проводили исследования с тремя кремнийсодержащими препаратами (диатомит, Мивал-Агро и ЭкSi), применяемыми для обра-

ботки семян и вегетирующих растений пшеницы сорта Маргарита. Полученные результаты показали, что применение препаратов без минеральных удобрений позволяет получать прибавку урожайности зерна на уровне 6–17 %, на фоне минеральных удобрений (N40P40K40) – 16–26 % [6].

Цель работы состояла в изучении влияния кремнийсодержащего препарата на биометрические параметры яровой пшеницы, выращиваемой в условиях абиотического стресса.

Методика исследований. Кремнийсодержащий препарат получали введением в гуминовый препарат БоГум (разработка ВНИИМЗ) метасиликата натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$, содержит 28 % SiO_2) с последующим перемешиванием раствора до полного растворения последнего. БоГум получают щелочной экстракцией на ферментационно-экстракционной линии, исходным сырьем которой является торфонавозная смесь (Патент на изобретение RU 2691693). Содержание гуминовых кислот в БоГум не менее 5 г/л, pH 7-9. Проводили исследования кремнийсодержащих препаратов с 0,05 %, 0,1 %, 0,5 %, 2,5 % масс. концентрации [C] SiO_2 , получаемые препараты обозначали БоГум-С [C].

Оценку влияния полученных препаратов на биометрические параметры яровой пшеницы сорта Иргина проводили в лабораторном эксперименте. Выращивание проростков осуществляли в пластиковых контейнерах, заполненных 150 г подготовленной почвы (почву высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали, увлажняли до 70% от НВ). Использовали дерново-подзолистую почву следующей характеристики: pH_{KCl} – 4,31; P_2O_5 – 192 (по Кирсанову); K_2O – 156 (по Кирсанову); Нлг. – 35 мг/кг, гумус – 2,83 % (по Тюрину). Произрастание культуры осуществляли на естественном фоне (без удобрений). В каждый контейнер сеяли по 21 семени яровой пшеницы (3 рядка по 7 семян). Семена дезинфицировали 1%-м раствором марганцевокислого калия 5 мин. Препараты использовали для предпосевной обработки семян и для опрыскивания проростков. Замачивание семян в БоГум-С проводили при рабочей концентрации препаратов 1:100 в течение 1 ч, опрыскивание осуществляли через 2 суток после начала имитирования стресса (на 7-е сутки после посева) в разбавлении 1:300 и норме расхода рабочего раствора 300 л/га. В схеме эксперимента был предусмотрен вариант без каких-либо обработок (контроль 1), вариант с обработкой семян и опрыскиванием проростков водой (контроль 2), а также вариант с применением гуминового препарата БоГум без кремния.

Произрастание семян проводили в условиях абиотических стрессов, моделировались два вида водных стресса: засуха и переувлажнение. Имитирование засухи осуществляли путем прекращения полива растений (на 5-е сутки после посева), стрессовое воздействие продолжали до начала увядания растений, когда влажность почвы достигла 10 % от НВ, затем ее увлажняли до 70 % от НВ. Переувлажнение (подтопление) осуществляли путем проведения дополнительных поливов контейнеров на 5-е сутки после посева – до достижения влажности почвы 140 % от НВ. Также были заложены варианты с произрастанием семян пшеницы без моделирования водных стрессов, в которых поддерживался нормальный уровень влажности дерново-подзолистой почвы – 70 % от НВ. Эксперимент проводили в течение 2 недель от начала посева семян, повторность опыта трехкратная.

Эффективность кремнийсодержащих препаратов оценивали путем определения биометрических параметров растений яровой пшеницы: длины надземной части проростков, а также их сырой и сухой массы.

Результаты исследований. При растворении метасиликат натрия распадается на оксид кремния и гидроксид натрия, поэтому полученные кремнийсодержащие препараты контролировали по значению pH. Полученные данные показали, что с введением источника кремния в количестве 2,5 масс. % по SiO_2 значительно повышалась щелочность препарата с 8,02 до 12,96 (см. рисунок). Разбавление препаратов БоГум-С с концентрациями SiO_2 0,5% и 2,5% в 100 и 300 раз при приготовлении рабочих растворов, способствовало снижению значений pH до 8,29 и 7,87 для 0,5% концентрации, 9,37 и 8,13 для 2,5% соответственно. Во избежание негативного влияния повышенной щелочности раствора обработка семян препаратом БоГум-С [2,5%] не проводилась.

Все кремнийсодержащие препараты характеризовались нестабильным агрегатным состоянием, поэтому через 2 недели после их получения образовался хлопьевидный осадок, в связи перед использованием их тщательно перемешивали.

Обработка семян пшеницы препаратами БоГум-С перед посевом, при выращивании культуры в условиях без стресса способствовала значительному статистически значимому увеличению сухой биомассы проростков – на 11,0-17,8 %, тогда как сырая масса увеличилась на 3,4-7,4 % по сравнению с контрольным вариантом, где обработка не проводилась (табл. 1).

При имитировании водных стрессов больший эффект от применения кремнийсодержащих препаратов отмечен при избыточном увлажнении. Наилучшие значения показателей получены в варианте с БоГум-С [0,1%]: прирост сырой массы проростков здесь составил 11,8 %, сухой – 6,1 %, длины проростков – 5,9 % по сравнению с вариантом без обработки.

Кислотность препаратов

Обработка семян БоГум-С с 0,5 %-ным содержанием SiO_2 в большинстве случаев способствовала худшему развитию проростков по сравнению с вариантами, где применялся исходный БоГум (см. табл. 1). Возможно, это было связано с избыточным содержанием кремния или со щелочной реакцией среды рабочего раствора.

Опрыскивание растений кремнийсодержащими препаратами в отсутствии стресса способствовало значительному увеличению сырой массы проростков (на 6,5–12,8 %), при этом высокий и достоверный рост сухой массы отмечали только от БоГум-С [0,1%] – 10,4 % (табл. 2). При моделировании абиотических стрессов максимальные прибавки биомасс отмечены также при

Биометрические показатели проростков пшеницы при обработке семян перед посевом

Вариант	Средняя длина максимального проростка, см			Средняя сырая масса проростков с 1 растения, $\times 10^{-3}$ г			Средняя сухая масса проростков с 1 растения, $\times 10^{-3}$ г		
	без стресса	засуха	переув-лажн.	без стресса	засуха	переув-лажн.	без стресса	засуха	переув-лажн.
Без обработки	19,7	18,5	20,3	72,7	71,4	76,8	7,3	7,3	8,2
вода	19,7	18,7	20,9	73,2	72,8	78,1	7,7	7,3	8,3
БоГум	19,9	18,9	20,9	76,4	74,4	82,5	8,0	7,5	8,6
БоГум-С [0,05%]	20,0	19,1	21,3	78,1	74,9	82,6	8,6	7,5	8,6
БоГум-С [0,1%]	19,8	19,5	21,5	75,2	77,5	85,9	8,2	7,6	8,7
БоГум-С [0,5%]	19,7	18,3	20,6	73,5	74,6	80,1	8,1	7,4	8,5
НСР ₀₅	0,87	0,90	0,98	3,64	3,58	4,37	0,42	0,38	0,43

Таблица 2

Биометрические показатели проростков пшеницы при опрыскивании вегетирующих растений

Вариант	Средняя длина максимального проростка, см			Средняя сырая масса проростков с 1 растения, $\times 10^{-3}$ г			Средняя сухая масса проростков с 1 растения, $\times 10^{-3}$ г		
	без стресса	засуха	переув-лажн.	без стресса	засуха	переув-лажн.	без стресса	засуха	переув-лажн.
Без обработки	19,6	17,1	20,6	83,7	77,0	91,6	10,1	10,0	9,9
Вода	19,7	17,9	20,6	84,1	82,7	92,2	10,1	10,9	9,9
БоГум	19,9	18,6	20,8	86,0	88,9	96,5	10,4	11,2	10,6
БоГум-С [0,05%]	19,5	17,3	21,2	89,1	89,3	100,6	10,8	11,2	10,9
БоГум-С [0,1%]	19,9	17,4	21,1	94,4	91,8	103,5	11,1	11,5	11,0
БоГум-С [0,5%]	19,4	17,3	21,0	92,8	84,1	99,5	10,5	11,1	10,8
БоГум-С [2,5%]	20,0	16,8	21,1	92,4	79,3	97,7	10,4	10,1	10,5
НСР ₀₅	0,96	0,83	1,05	4,37	4,15	5,06	0,54	0,56	0,49

использовании БоГум-С [0,1%], достигая высоких величин: при имитировании засухи сырая и сухая биомасса увеличились на 19,2 и 15,0 %, при повышенной влажности – на 13,0 и 11,1 % по сравнению с вариантом без обработок.

Самая высокая концентрация оксида кремния в БоГум [2,5 %] способствовала незначительным приростам биометрических показателей по сравнению с вариантом без удобрения и меньшими, чем от применения исходного БоГум, а в случае имитирования засухи воздействовала ингибирующе.

Поскольку препарат БоГум является гуминовым препаратом, а, как известно [2], гуминовые вещества способствуют адаптации растений к разнообразным стрессовым факторам, за счет облегчения транспорта макро- и микро-элементов, включения в липидный метаболизм растений и участия в восстановлении поврежденных мембранных структур, наблюдали его вполне закономерное положительное воздействие на проростки пшеницы в условиях моделируемых стрессов. Статистически значимые по биометрическим показателям различия между вариантом с применением БоГум и вариантом без обработки в большей степени наблюдались при опрыскивании проростков.

При сравнении вариантов, где использовался исходный гуминовый препарат (БоГум) или же модифицированный препарат с внесением кремния (БоГум-С), следует отметить, что в большинстве случаев наблюдалась лишь тенденция к увеличению изучаемых биометрических показателей. Положительное влияние препарата БоГум-С на проростки пшеницы зависело от явления синергизма, обусловленного свойствами гуминовых кислот и кремния.

Заключение. Таким образом, установлено, что применение БоГум-С с содержанием оксида кремния 0,1 % является оптимальным при использовании его как для обработки семян, так и для опрыскивания проростков пшеницы, обеспечивая положительное влияние на их развитие как при произрастании без стресса, так и в моделируемых стрессовых условиях.

В целом, по результатам проведенного исследования выявлено преимущество приема опрыскивания проростков перед замачиванием семян, выраженное в большей частоте достоверных приростов биометрических показателей проростков пшеницы. Несмотря на то, что замачивание семян влияет на прорастивание и на формирование более мощных проростков, способных противостоять внешнему воздействию абиотических стрессов, при их моделировании применение приема опрыскивания в момент сильного негативного влияния оказалось адресным и своевременным, так как растения получили поддержку в виде элементов питания и физиологически активных веществ. Это связано с тем, что при непосредственном контакте с листовой поверхностью составляющие препаратов способны немедленно включиться в физиолого-биохимические процессы растений, направленные на снятие негативного влияния стресса и активизацию роста и развития растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений // Земледелие. 2020. № 4. С. 40–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411
2. Гречищева Н. Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред: дис. ... д-ра хим. наук. М., 2016. 326 с.
3. 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.

4. Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах // *Агрохимия*. 2019. № 1. С. 86–96. DOI: 10.1134/S0002188119010071
5. Сластья И. В. Влияние обработки соединениями кремния семян и вегетирующих растений на продуктивность сортов ярового ячменя // *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 51–59.
6. Смывалов В. С., Карпов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А., Захарова Д. А. Продуктивность и биоэнергетическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы в зависимости от применения кремнийсодержащих препаратов, диатомита и минерального удобрения // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2017. № 4 (16). С. 67–73.
7. Петриченко В. Н., Логинов С. В., Туркина О. С., Солдатова С. Ю. Применение кремнийсодержащих препаратов в растениеводстве России // *Вестник РАН*. 2019. Т. 19. № 4. С. 70–86.
8. Alzahrani Y., Kuşvuranb A., Alharbya H. F., Kuşvuranb S., Radyc M. M. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium // *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 2018; 154: 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.057>
9. Gong H. J., Chen K. M., Chen G. C., Wang S. M., Zhang C. L. Effects of silicon on growth of wheat under drought // *J. Plant Nutr.*; 2003; 26 (5): 1055–1063.
10. Luyckx M., Hausman J. F., Lutts S., Guerriero G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives // *Front. Plant Sci.*; 2017; 8: 411.
11. Nazaralian S., Majd A., Irian S., Najafi F., Ghahremaninejad F., Landberg T., Greger M. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek // *Plant Physiology and Biochemistry*; 2017; 115: 25–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.009>
12. Snehal S., Lohani P. Silica nanoparticles: Its green synthesis and importance in agriculture // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 2018; 7(5): 3383–3393.

REFERENCES

1. Bezruchko E. V. Silicon is an underestimated element of plant nutrition. *Agriculture*. 2020; 4: 40–46. DOI: 10.24411 / 0044-3913-2020-10411. (In Russ.).
2. Grechishcheva N. Yu. Development of scientific foundations for the use of humic substances to eliminate the consequences of oil pollution of soil and water environments. Moscow; 2016. 326 p. (In Russ.).
3. Samsonova N. E., Kozlov Yu. V., Zaitseva Z. F., Shupinskaya I. A. Efficiency of silicon compounds in the treatment of seeds and plants of corn (*Zea mays* L.). *Agrochemistry*. 2017; 1: 12–18. (In Russ.).
4. Samsonova N. Ye. Silicon in plant and animal organisms. *Agrochemistry*. 2019; 1: 86–96. DOI: 10.1134 / S0002188119010071. (In Russ.).
5. Slastyia I. V. Influence of treatment with silicon compounds of seeds and vegetative plants on the productivity of varieties of spring barley. *Agrochemistry*. 2012; 10: 51–59. (In Russ.).
6. Smyvalov V. S., Karpov A. V., Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Zakharova D. A. Mineral fertilizers. *Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects*. 2017; 4 (16): 67–73. (In Russ.).
7. Petrichenko V. N., Loginov S. V., Turkina O. S., Soldatova S. Yu. Application of silicon-containing preparations in plant growing in Russia. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2019; 19; 4: 70–86. (In Russ.).
8. Alzahrani Y., Kuşvuranb A., Alharbya H. F., Kuşvuranb S., Radyc M. M. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium // *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 2018; 154: 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.057>
9. Gong H. J., Chen K. M., Chen G. C., Wang S. M., Zhang C. L. Effects of silicon on growth of wheat under drought // *J. Plant Nutr.*; 2003; 26 (5): 1055–1063.
10. Luyckx M., Hausman J. F., Lutts S., Guerriero G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives // *Front. Plant Sci.*; 2017; 8: 411.
11. Nazaralian S., Majd A., Irian S., Najafi F., Ghahremaninejad F., Landberg T., Greger M. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek // *Plant Physiology and Biochemistry*; 2017; 115: 25–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.009>
12. Snehal S., Lohani P. Silica nanoparticles: Its green synthesis and importance in agriculture // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 2018; 7(5): 3383–3393.

*Статья поступила в редакцию 16.04.2021; одобрена после рецензирования 23.04.2021; принята к публикации 29.04.2021.
The article was submitted 16.04.2021; approved after reviewing 23.04.2021; accepted for publication 29.04.2021.*