

УДК 631.811

DOI:10.31857/2500-2082/2022/6/22-26, EDN: KDVSXK

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КРЕМНИЯ НА ПРОИЗРАСТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Юлия Дмитриевна Смирнова, кандидат биологических наук
Наталья Викторовна Фомичева, кандидат биологических наук
Галина Юрьевна Рабинович, доктор биологических наук, профессор
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Россия
E-mail: ulayad@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – изучить влияние двух видов кремния (аморфный кремний Ковелос-Сорб и метасиликат натрия) на биометрические параметры яровой пшеницы. Пшеницу выращивали в лабораторных условиях при моделировании температурного и водных стрессов. Кремний вводили на стадии нормализации в жидкофазный биогенный препарат – ЖФБ, разработанный отделом биотехнологий ВНИИМЗ. Препараты ЖФБ-К (с аморфным кремнием) и ЖФБ-С (метасиликатом натрия) применяли для опрыскивания растений в фазе всходов. Рост биометрических показателей растений пшеницы зависел от влияния самого биогенного препарата ЖФБ и оксида кремния. При моделировании температурного стресса больше воздействовал оксид кремния, при водных – биогенный препарат. Метасиликат натрия снижал качественные характеристики исходного препарата, поэтому от его применения прирост сырой и сухой биомассы растений был меньше, чем с опрыскиванием проростков ЖФБ-К. Определена оптимальная концентрация содержания оксида кремния в препарате ЖФБ для обеих форм кремния – 0,5%. Максимальную отзывчивость растений на опрыскивание пшеницы отмечали при моделировании понижения температуры после всходов: увеличение сырой и сухой биомассы от применения ЖФБ-К (0,5%) составило 9,2 и 14,0%, ЖФБ-С (0,5%) – 10,0 и 11,9%. Используя Ковелос-Сорб в качестве источника кремния, отмечали статистически значимый прирост сырой и сухой биомассы пшеницы относительно исходного ЖФБ.

Ключевые слова: аморфный кремний, метасиликат натрия, яровая пшеница, абиотический стресс, биомасса

INFLUENCE OF DIFFERENCE SILICON VARIETIES ON SPRING WHEAT GROWTH

Yu.D. Smirnova, *PhD in Biological Sciences*

N.V. Fomicheva, *PhD in Biological Sciences*

G.Yu. Rabinovich, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*

FRC «V.V. Dokuchaev Soil Science Institute», Moscow, Russia

E-mail: ulayad@yandex.ru

Abstract. *The market for silicon preparations is growing every year, and the range of studies to study its effect on crops is expanding. The purpose of this work is to study the effect of two sources of silicon (amorphous silicon Kovelos-Sorb and sodium metasilicate) on the biometric parameters of spring wheat. Wheat cultivation was carried out under laboratory conditions while modeling temperature and water stresses. The source of silicon was introduced at the stage of normalization into a liquid-phase biogenic preparation, LPB, developed by the Biotechnology Department of VNIIMZ. Preparations LPB-K (with amorphous silicon) and LPB-S (with sodium metasilicate) were used for spraying plants in the phase of wheat seedlings. It was revealed that the increase in the biometric parameters of wheat plants consisted of the influence of the biogenic preparation of LPB itself and silicon oxide. When modeling temperature stress, silicon oxide had a greater influence, and when water stresses, a biogenic preparation had a greater effect. Sodium metasilicate reduced the qualitative characteristics of the original preparation, therefore, when using it, the increase in wet and dry plant biomass was less than in the case of spraying seedlings with LPB-K. Based on the data obtained on the biometrics of wheat plants, the optimal concentration of silicon oxide in the LPB preparation was determined – 0.5% for both forms of silicon. The maximum responsiveness of plants to wheat spraying with the resulting preparations was noted when modeling a decrease in temperature after germination: the increase in wet and dry biomass from the use of LPB-K (0.5%) was 9.2 and 14.0%, from LPB-S (0.5%) 10.0 and 11.9%. When using Kovelos-Sorb as a source of silicon, a statistically significant increase in raw and dry wheat biomass relative to the initial LPB was more often than sodium metasilicate.*

Keywords: *amorphous silicon, sodium metasilicate, spring wheat, abiotic stress, biomass*

Практика сельского хозяйства многих стран мира свидетельствует об эффективности кремниевых препаратов и удобрений, исследований по изучению их влияния на культуры. [3] При выращивании сельскохозяйственных культур применяют различные источники кремния (Si) – это природные диатомиты и цеолиты, промышленные шлаки, аморфный кремний, силикаты и силатраны, коммерческие препараты. Способы их внесения: в почву; опудривают или замачивают семена; при корневой и фолиарной обработке; в питательные смеси для микроклонирования растений. Популярность кремния связана с его многофункциональностью. Он защищает растения от биотических и абиотических стрессов, например, повышает устойчивость растений к патогенным микроорганизмам, перепадам температуры, засухе и переувлажнению. [2] Исследования свидетельствуют о его положительном влиянии на использование растениями фосфора из почвенного раствора, повышении фотосинтетической деятельности и морфо-биометрических показателей.

Внесение высококремнистого цеолита под яровую пшеницу способствовало увеличению площади листовой поверхности, содержания в листьях хлорофилла и чистой продуктивности фотосинтеза. Этот эффективный прием повысил урожайность зерна – в среднем за два года прибавка составила 65% к контролю. [7]

Обработка суспензией ультрадисперсных частиц диоксида кремния клубней картофеля сорта *Тарасов* в концентрации 0,09 и 0,18 г/кг способствовала увеличению активности пероксидазы в два раза. [1]

Введение в состав питательной среды хелата кремния и силиката натрия для выращивания микрорастений картофеля *Ред Скарлет* стимулировало ростовые процессы и образование узлов. Наибольший эффект достигнут при внесении 3 мл/л хелата

Si – высота растений увеличилась на 8,27 мм, длина корней – 27,51 мм, количество узлов – 0,67 шт. [5]

Влияние двух видов кремния (растворимый силикат и аморфный) на ростовые параметры и активность ферментов антиоксидантного стресса показано в работе иранских исследователей на растениях пажитника (*Trigonella foenum-graecum* L.), выращиваемого на гидропонике. [8] Эффект от внесения обеих форм кремния был одинаков в отношении поглощения и накопления Si, лигнификации клеточной стенки ксилемы, толщины клеточной стенки, активности фенилаланин-аммиак-лиазы и концентрации белка в проростках пажитника, и не было воздействия на активность ферментов антиоксидантного стресса (каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутазы). С ростом дозы внесения силиката натрия увеличивалось накопление Si в побегах, данный эффект не обнаружен при использовании аморфного кремния. Экспрессия генов предполагаемого переносчика кремния активировалась на более высоком уровне с силикатом натрия. [8]

В научной литературе встречается информация о положительном воздействии на произрастание различных сельскохозяйственных культур аморфного диоксида кремния под торговой маркой Ковелос-Сорб, производимого ООО «Экокремний». В Брянском государственном университете исследовано его влияние на урожайность, физиологические и морфометрические показатели различных овощных культур. Использование кремнезоля в концентрации 2 г/л для предпосевной обработки семян моркови сорта *Лосиноостровская* и томата *Виноградная гроздь*, привело к увеличению урожайности в 1,2 и 2 раза соответственно. При опудривании аморфным кремнеземом корней рассады кабачков *Аэронавт* в количестве 3 г/кг урожайность выросла в 1,7 раза, картофеля – 1,14 по сравнению с контрольным вариантом. [4]

Опыты на различных видах капусты (пекинская – *Бокал*, цветная – *Сноубол 123*, белокочанная – *Слава 1305*), проведенные этими же исследователями, показали, что опудривание семян белокочанной капусты аморфным кремнеземом (100...150 мг/г) или замачивание в кремнезоле (0,0001%) приводило к увеличению параметров роста в 1,3...1,7 раза и содержания пигментов фотосинтеза в проростках пекинской и белокочанной капусты. [5]

Цель работы – изучить влияние различных источников кремния на ростовые параметры яровой пшеницы, выращиваемой в условиях абиотического стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе исследовали эффективность двух видов кремния: водорастворимый метасиликат натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$) с содержанием оксида кремния (SiO_2) 28% и аморфный Ковелос-Сорб (97%).

Для оценки влияния кремния на биометрические параметры пшеницы были созданы новые кремнийсодержащие препараты на основе жидкофазного биогенного препарата – ЖФБ, разработанного отделом биотехнологий ВНИИМЗ (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»). Отличительная черта ЖФБ – высокая численность различных групп почвенных микроорганизмов (до 10^{12} КОЕ/мл), наличие макро- и микроэлементов, физиологически активных веществ, в том числе метаболитов микроорганизмов.

Кремний вводили на стадии нормализации ЖФБ с дальнейшим перемешиванием смеси в течение 30 мин. После препараты оставляли на семь суток для завершения процессов трансформации и формирования готового жидкофазного биосредства с протекторными свойствами.

Исследовали по четыре концентрации Ковелос-Сорб в ЖФБ – 0,1%, 0,5, 2,5, 5,0% и метасиликата натрия – 0,05, 0,1, 0,5, 2,5% (концентрация указана в пересчете на SiO_2). При выборе концентраций руководствовались рекомендациями ООО «Экокремний» и данными научной литературы по применению кремнийсодержащих препаратов. Препараты, полученные с использованием Ковелоса, обозначили как ЖФБ-К (С), а с метасиликатом натрия – ЖФБ-С (С).

Степень влияния источников кремния на качество биогенного препарата оценивали по содержанию азоттрансформирующих микроорганизмов, микроскопических грибов, энтеробактерий и уровню рН, а на проростки яровой пшеницы в лабораторном эксперименте путем моделирования стрессовых условий. Агротехническая характеристика дерново-подзолистой почвы: рН – 4,31; P_2O_5 – 192,1 мг/кг; K_2O – 156,2; Нлг. – 35,1 мг/кг, гумус – 2,83%. Почву высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали, раскладывали в пластиковые контейнеры по 150 г и увлажняли до 70% наименьшей влагоемкости (НВ). Препараты использовали для опрыскивания растений в фазе всходов после проведенных моделируемых стрессов. Рабочий раствор 1:100. Контроль – без препарата. Заложены варианты с произрастанием пшеницы без стресса – температура 22...23°C, влажность почвы – 70% НВ. Длительность эксперимента – две недели, повтор-

ность опыта – трехкратная. Заданную влажность почвы поддерживали регулярным поливом.

Имитировали водные и температурный стрессы в фазе всходов (пятые сутки после посева): держали растения в хладотермостате при температуре 5...7°C двое суток – пониженная температура; убирали полив до наступления начала увядания проростков – засуха; дополнительно поливали до наступления влажности почвы 140% НВ – избыточная влажность.

Оценивали эффективность кремния, определяя длину проростков, сырую и сухую биомассу растений. Статистическая обработка включает вычисления среднеарифметических значений показателей (объем выборки $n = 63$) с последующим проведением однофакторного дисперсионного анализа с НСР на 5%-м уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Введение источников кремния в биогенный препарат ЖФБ повлияло на внешний вид жидкофазных препаратов – приготовленные с аморфным оксидом кремния имели жидкую консистенцию со взвешенными частицами, а метасиликатом натрия – хлопьевидный осадок. Перед непосредственным использованием препаратов их еще раз перемешивали. Химически нейтральный статус Ковелос-Сорб не оказывал влияния на изменение уровня рН, а метасиликат натрия увеличивал значения кислотности практически до 13, поскольку он при растворении разлагается на оксид кремния и гидроксид натрия (табл. 1).

Смешивание Ковелос-Сорб с ЖФБ не повлияло на уровень микробной обсемененности. Численность микроорганизмов всех исследуемых групп снизилась с увеличением дозы метасиликата натрия. Количество аммонифицирующих микроорганизмов в кремнийсодержащих биосредствах с содержанием 0,05% SiO_2 уменьшилось в шесть-семь раз по сравнению с исходными ЖФБ; с 0,1%-м – в 10...13 раз; 0,5%-м – на два-три порядка; 2,5%-м – четыре-пять порядков. Численность амилитических микроорганизмов снизилась с 10^{12} КОЕ/мл в исходных биосредствах ЖФБ до 10^{10} КОЕ/мл в биосредствах с содержанием

Таблица 1.

Характеристика препаратов

Препарат	рН	Аммонификаторы	Амилитические микроорганизмы	Грибы	Энтеробактерии
		КОЕ/мл			
ЖФБ	7,92	$22,4 \cdot 10^{10}$	$25,0 \cdot 10^{12}$	16	$4,1 \cdot 10^5$
ЖФБ-К (0,1%)	8,11	$25,6 \cdot 10^{10}$	$27,2 \cdot 10^{12}$	14	$3,9 \cdot 10^5$
ЖФБ-К (0,5%)	8,09	$29,2 \cdot 10^{10}$	$26,4 \cdot 10^{12}$	12	$4,6 \cdot 10^5$
ЖФБ-К (2,5%)	8,03	$27,2 \cdot 10^{10}$	$25,6 \cdot 10^{12}$	13	$4,0 \cdot 10^5$
ЖФБ-К (5,0%)	7,96	$27,0 \cdot 10^{10}$	$22,8 \cdot 10^{12}$	8	$4,2 \cdot 10^5$
ЖФБ-С (0,05%)	9,05	$3,28 \cdot 10^{10}$	$24,0 \cdot 10^{10}$	7	$0,52 \cdot 10^5$
ЖФБ-С (0,1%)	9,26	$1,71 \cdot 10^{10}$	$23,6 \cdot 10^{10}$	1	$0,23 \cdot 10^5$
ЖФБ-С (0,5%)	10,59	$0,21 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^8$	0	0
ЖФБ-С (2,5%)	12,84	$0,80 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^4$	0	0

Таблица 2.
Сырая масса проростков пшеницы при опрыскивании всходов различными препаратами

Концентрация SiO ₂ в ЖФБ	Средняя сырая масса одного проростка, x10 ⁻³ г							
	без стресса		понижение температуры		засуха		повышенная влажность	
	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С
Без препарата	89,5		87,4		79,7		90,9	
0	95,4		90,0		86,6		96,4	
0,05	–	95,2	–	92,4	–	89,2	–	98,4
0,1	97,5	97,2	96,8	92,4	87,7	89,5	97,2	98,3
0,5	98,0	98,1	96,8	96,1	88,3	88,5	99,3	97,2
2,5	96,4	90,2	91,8	95,2	88,8	86,5	98,3	94,3
5,0	86,2	–	87,8	–	89,2	–	98	–
НСР _{0,5}	4,75	4,62	5,21	4,53	4,68	3,87	4,26	5,24

0,05 и 0,1% SiO₂ и упала до 10⁴...10³ КОЕ/мл при содержании оксида кремния в биосредствах 2,5%. Микроорганизмы группы энтеробактерий при высоких концентрациях метасиликата натрия из-за повышенной щелочности среды не обнаружены.

Воздействие всех абиотических стрессов отразилось на биометрических показателях растений. В варианте без опрыскивания наибольшее угнетающее воздействие на биомассу проростков пшеницы отмечали при имитировании засухи: количество сухой биомассы снизилось на 5,7% (табл. 3), сырой – 10,9 (табл. 2), длина проростков – 9,2% (с 18,4 до 16,7 см).

Применение препарата ЖФБ для опрыскивания растений способствовало приросту сырой биомассы относительно контроля на 3,0...8,7%, сухой – 3,0...6,1% в зависимости от режима проращивания. Наименьший прирост был при понижении температуры после всходов, из-за уменьшения активно-

Таблица 3.
Сухая масса проростков пшеницы при опрыскивании всходов различными препаратами

Концентрация SiO ₂ в ЖФБ	Средняя сухая масса одного проростка, x10 ⁻³ г							
	без стресса		понижение температуры		засуха		повышенная влажность	
	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С	ЖФБ-К	ЖФБ-С
Без препарата	10,5		10,1		9,9		10,0	
0	11,1		10,4		10,5		10,5	
0,05	–	11,1	–	10,4	–	10,9	–	10,8
0,1	11,6	11,1	11,3	10,6	10,5	10,7	10,8	10,6
0,5	11,7	11,2	11,4	11,3	10,7	10,7	11,4	10,5
2,5	11,5	10,7	10,5	11,3	10,6	10,5	11,1	9,9
5,0	10,3	–	10,2	–	10,8	–	10,8	–
НСР _{0,5}	0,46	0,51	0,51	0,48	0,38	0,47	0,42	0,43

сти микроорганизмов и ферментов, содержащихся в ЖФБ, максимальный – в условиях засухи. Длина проростков яровой пшеницы достоверно увеличилась от применения ЖФБ только в блоке с имитированием засухи – с 16,7 до 17,4 см.

Хорошая отзывчивость пшеницы на опрыскивание кремнийсодержащими препаратами выражалась в увеличении сырой и сухой биомассы растений (табл. 2, 3). В случае применения препарата ЖФБ-К практически абсолютным лидером, независимо от условий произрастания, был вариант с содержанием оксида кремния 0,5%. Максимальный прирост биомассы пшеницы был при опрыскивании проростков препаратом с метасиликатом натрия концентрацией SiO₂ 0,1% при моделировании водных стрессов, 0,5% – понижении температуры и в условиях без стресса. Суммарно больший эффект от ЖФБ-С получен при содержании SiO₂ 0,5%. Опрыскивание проростков самыми высокими концентрациями оксида кремния (ЖФБ-К (5,0%) и ЖФБ-С (2,5%)) в большинстве вариантов приводило к угнетению развития растений пшеницы, что выражалось в уменьшении биомассы проростков.

Прибавка сырой и сухой биомассы пшеницы в зависимости от условий проращивания изменялась при опрыскивании ЖФБ-К (0,5%) относительно варианта без препарата следующим образом: засуха (10,0 и 11,9%) – без стресса (9,5 и 13,6) – повышенная влажность (9,2 и 14,0) – пониженная температура (10,8 и 12,9%). В случае с ЖФБ-С (0,5%): повышенная влажность (6,9 и 5,0%) – без стресса (9,6 и 8,7) – засуха (11,1 и 8,1) – пониженная температура (10,0 и 11,9%). Степень воздействия препаратов в зависимости от моделируемых стрессов различалась, суммарно эффективнее был препарат, содержащий аморфный кремний ЖФБ-К, и прибавки по биомассе были практически одинаковые, только в условиях засухи немного ниже. Выявлено, что использование ЖФБ-С максимально эффективно при температурном стрессе, дает минимальную прибавку при повышенной влажности.

Отличалось накопление биомассы растениями, обработанными препаратами с аморфным кремнием, выращиваемыми при засухе. Отмечен рост сырой и сухой биомассы с увеличением концентрации оксида кремния в ЖФБ, максимальный прирост от применения 5,0%-й концентрации составил 2,7 и 2,9% сырой и сухой биомассы соответственно.

В случае использования в качестве источника кремния Ковелос-Сорб прирост биомассы изменялся в том же ряду (в сторону увеличения), что и препарата ЖФБ-К: засуха – без стресса – повышенная влажность – пониженная температура. С метасиликатом натрия ряд изменился: без стресса – повышенная влажность – засуха – пониженная температура. Соответственно, максимальное влияние обеих форм кремния относительно ЖФБ наблюдали при понижении температуры после посева: прибавки сырой массы составили 7,6 и 6,8%, сухой – 9,6 и 8,7%.

Это связано с тем, что при понижении температуры происходит изменение клеточных мембран растений, резко возрастает их проницаемость по отношению к воде и ионам, что способствует проникновению питательных веществ из ЖФБ и кремния

в растения при непосредственном контакте препарата с их листовой поверхностью.

Под действием препарата Ковелос-Сорб увеличивалась сухая масса проростков пшеницы при моделировании повышенной влажности (прирост – 8,6%) и в условиях без стресса (5,4%).

Низкая отзывчивость растений на опрыскивание исходным биогенным препаратом и максимальный прирост биомассы с применением кремнийсодержащих препаратов свидетельствует о том, что присутствие кремния скомпенсировало негативный ответ микроорганизмов ЖФБ на понижение температуры окружающей среды, наблюдался синергетический эффект от воздействия биогенного препарата и оксида кремния.

Величина прироста биомассы с растворимым силикатом натрия при моделировании водных стрессов и в оптимальных условиях была недостоверна относительно варианта с исходным ЖФБ и находилась в пределах до 3%.

Выводы. Выявлено положительное воздействие полученных новых кремнийсодержащих препаратов ЖФБ-К и ЖФБ-С на произрастание растений пшеницы в условиях моделируемых абиотических стрессов. Увеличение биометрических показателей растений складывалось из влияния самого биогенного препарата ЖФБ и введенного источника кремния. При моделировании температурного стресса большее действие оказывал оксид кремния, при водных стрессах – биогенный препарат. Более агрессивный в химическом плане метасиликат натрия снижал качественные характеристики исходного препарата, в связи с этим прирост сырой и сухой биомассы растений был меньше, чем в случае опрыскивания проростков препаратом, полученным с участием аморфного кремния. На основании полученных данных по биометрии растений пшеницы определена оптимальная концентрация содержания оксида кремния в препарате ЖФБ (0,5%) для обеих форм кремния. Максимальная отзывчивость растений на опрыскивание пшеницы полученными препаратами отмечалась при моделировании понижения температуры после всходов: увеличение сырой и сухой биомассы от применения ЖФБ-К (0,5%) – 9,2 и 14,0%, ЖФБ-С (0,5%) – 10,0 и 11,9%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аминова Е.В., Мушинский А.А., Саудабаева А.Ж. Стрессоустойчивость растений *Solanum tuberosum* под влиянием УДЧ диоксида кремния // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 16–23. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-16.
2. Безручко Е.В. Кремний – недооцененный элемент питания растений // Земледелие. 2020. № 4. С. 40–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411.
3. Мнатсаканян А.А., Чуварлеева Г.В., Волкова А.С. Включение в технологию выращивания подсолнечника препарата на основе биологически активного кремния // Новые технологии. 2020. Т. 15. № 4. С. 110–117. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-110-117>.
4. Немцова Е.В., Харин А.В., Разлуга И.А. и др. Влияние аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, морфометрические и физиологические показатели овощных культур // Известия Самарского на-

учного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21. № 2. С. 95–100.

5. Полякова М.Н., Хабарова Л.Н. Влияние различных источников кремния на растения оздоровленного семенного картофеля в культуре *in vitro* // Научный вклад молодых исследователей в сохранение традиций и развитие АПК: Сб. науч. трудов Межд. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов. 2016. С. 54–56.
6. Разлуга И.А., Немцова Е.В. Влияние синтетического диоксида кремния на морфометрические показатели и содержание пигментов фотосинтеза в проростках некоторых видов капусты // Разнообразие растительного мира. 2019. № 1 (1). С. 67–73. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-1-67-73.
7. 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.
8. Nazaraliana S., Majd A., Irian S. et. al. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017. No 115. P. 25–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.009>

REFERENCES

1. Aminova E.V., Mushinskij A.A., Saudabaeva A.Zh. Stressoustojchivost' rastenij *Solanum tuberosum* pod vliyaniem UDCH dioksida kremniya // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2020. T. 103. № 3. S. 16–23. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-16.
2. Bezruchko E.V. Kremnij – nedoocenennyj element pitaniya rastenij // *Zemledelie*. 2020. № 4. S. 40–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411.
3. Mnatsakanyan A.A., Chubarleeva G.V., Volkova A.S. Vkluchenie v tekhnologiyu vyrashchivaniya podsolnechnika preparata na osnove biologicheski aktivnogo kremniya // *Novye tekhnologii*. 2020. T. 15. № 4. S. 110–117. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-110-117>.
4. Nemcova E.V., Harin A.V., Razluga I.A. i dr. Vliyanie amorfного dioksida kremniya «Kovelos» na urozhajnost', morfometricheskie i fiziologicheskie pokazateli ovoshchnyh kul'tur // *Izvestiya Samarского nauchного центра Rossijskoj akademii nauk*. 2019. T. 21. № 2. S. 95–100.
5. Polyakova M.N., Habarova L.N. Vliyanie razlichnyh istochnikov kremniya na rasteniya ozdorovlennogo semenного kartofelya v kul'ture *in vitro* // *Nauchnyj vklad molodyh issledovatelej v sohranenie tradicij i razvitie APK: Sb. nauch. trudov Mezhd. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenykh i studentov*. 2016. S. 54–56.
6. Razluga I.A., Nemcova E.V. Vliyanie sinteticheskogo dioksida kremniya na morfometricheskie pokazateli i sodержание pigmentov fotosinteza v prorstkah nekotoryh vidov kapusty // *Raznoobrazie rastitel'nogo mira*. 2019. № 1 (1). S. 67–73. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-1-67-73.
7. Shupinskaya I.A., Samsonova N.E., Antonova N.A. Vliyanie korneвого i foliarnого pitaniya rastenij mineral'nymi udobreniyami i soedineniyami kremniya na pokazateli fotosinteticheskoy deyatelnosti i urozhajnost' zerna yarovoй pshenicy // *Agrohimiya*. 2017. № 2. S. 11–18.
8. Nazaraliana S., Majd A., Irian S. et. al. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017. No 115. P. 25–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.009>