

УДК 631.811.93

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРЕМНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ

Е.А.Бочарникова¹, кандидат биологических наук, С.В.Логинов², кандидат химических наук,
В.В.Матыченков³, доктор биологических наук, П.А.Стороженко², член-корреспондент РАН

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Пушкино, Московская область
E-mail: mawk@rambler.ru

²Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии
элементоорганических соединений, 111123, Москва
E-mail: eos@eos.incotrade.ru

³Институт фундаментальных биологических проблем РАН, 142290, Пушкино, Московская область
E-mail: Vvmatichenkov@rambler.ru

Исследованы роль и функции кремния в растениях и системе почва-растение. Показано, что этот элемент обуславливает природную защиту культурных растений от биогенных и абиогенных стрессов, а кремниевые удобрения позволяют получить максимальный урожай при минимальных затратах.

Ключевые слова: кремний, почва, растения, кремниевые удобрения, эффективность

Key words: silicon, soil, plants, silicon fertilizer, efficiency

Кремниевые удобрения известны в мире с середины 18 века. С 2000 г. их производство во многих странах повышается на 20-30 % ежегодно [1-3]. В научной литературе несколько тысяч работ посвящено этим удобрениям. Однако до сих пор мало известна роль активных форм кремния в системе почва-растение. Для решения таких задач, как экологически чистое земледелие, устойчивое сельское хозяйство необходимо широкое применение кремния в виде удобрений и почвенных мелiorантов.

Известно, что кремний – второй после кислорода по распространенности элемент на нашей планете. Однако в почве содержится от 1 до 5 % его активных форм, большая часть которых представлена аморфным диоксидом кремния. Сельскохозяйственные растения поглощают его в количестве от 30 до 700 кг/га в год [4, 5]. Основная часть растительного кремния безвозвратно выносится вместе с урожаем, в результате отмечаются деградация почвенного плодородия и дефицит кремниевого питания растений. Кроме воздействия на устойчивость глинистых минералов активные формы кремния непосредственно влияют на подвижность фосфатов [6, 7], алюминия, кальция, железа и других элементов в почве, устойчивость гуминовых соединений и формирование органо-минерального комплекса.

Исследования последних лет изменили научные представления о значимости этого элемента [5, 8, 9]. Доказано, что растения активно поглощают его и быстро перераспределяют по органам. Определены активные формы кремния в растении и выявлена их возможность контролировать многие биохимические реакции. Кремний формирует иммунную систему растений и играет защитную роль при любом стрессовом воздействии. Такая универсальность заключается в способности активных кремниевых соединений быстро и направленно синтезировать специфические

органические молекулы внутри растительной клетки. Понимание роли кремния в физиологии растений позволило разработать уникальные препараты, позволяющие повышать сопротивляемость растений к любым неблагоприятным условиям [3, 10]. Следует отметить значение кремниевых удобрений для повышения качества сельскохозяйственной продукции.

Целью настоящей работы было выяснить эффективность различных кремниевых удобрений, для чего проведены полевые испытания раствора монокремниевой кислоты, жидкого кремний-гуминового удобрения, диатомитов и силиката кальция на культурах риса (*Oryza sativa* L.), пшеницы (*Triticum aestivum* L.), кукурузы (*Zea mays* L.), ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и огурцов (*Cucumis sativus* L.).

Методика. Полевой демонстрационный эксперимент на культуре риса с использованием раствора монокремниевой кислоты проведен в 1998-2000 гг. на Эверглейдской сельскохозяйственной станции Университета Флориды (Everglades Research and Education Center, University of Florida, США), расположенной на юго-восточном берегу озера Окечоби (центральная Флорида). Опыт заложен на поле, разделенном на участки шириной 50 м, длиной 100 м с шириной разделительных полос 5 м. Почва – торфяная болотная низинная. Растворы монокремниевой кислоты с концентрацией кремния 150 мг/л вносили при посеве культуры из расчета 700 л/га, а также опрыскивали растения через 1, 2 и 2,5 мес после посева из расчета 500 л/га.

Второй полевой эксперимент с использованием смеси монокремниевой кислоты с гуматами проведен в 1999-2001 гг. в Канаде, провинция Саскчевань. Почва представлена выщелоченным черноземом с содержанием органического углерода 4,6 %, глины – 65 %, мощностью гумусового горизонта 46 см, рН_{водн} 6,5. На поле площадью 250 га выращивали яровую пшеницу, 100 га использовали под контроль (без внесе-

ния кремния) и на 150 га применяли препарат (смесь монокремниевой кислоты и нейтрализованного щелочного экстракта гуминовых соединений, полученных из низинного торфа). В растворе концентрация монокремниевой кислоты составляла 200 мг/л, гуматов – 2 % (по С). Раствор вносили в почву во время посева из расчета 500 л/га.

Испытания природного кремниевого удобрения на основе диатомитов (Ульяновская область) проводили в теплице на культуре огурцов и в микрополивых условиях на кукурузе. Диатомит вносили перед посадкой семян в дозе 1 т/га в серую лесную почву (Московская область). Огурцы собирали постепенно, по мере созревания и достижения 10-15 см.

Третий полевой эксперимент проведен в 2002-2004 гг. в США (штат Флорида) на песчаной почве (рН 5,3), содержание органического вещества – 0,5 % С. На поле общей площадью 50 га выращивали ячмень, 20 га использовали под контроль (без внесения кремния). В качестве кремниевого удобрения применяли силикат кальция в дозе 2 т/га перед посевом ячменя.

Для определения влияния кремневых удобрений на содержание доступного для растений фосфора провели ряд инкубационных экспериментов. В образцы верхних горизонтов дерново-подзолистой целинной (север Московской области), дерново-подзолистой окультуренной (север Московской области), чернозема обыкновенного (Волгоградская область), каштановой (Волгоградская область), карбонатной аллювиальной тяжелосуглинистой целинной (Иордания), карбонатной аллювиальной тяжелосуглинистой окультуренной (Иордания) и серой карбонатной почвы (Таджикистан) добавляли аморфный кремнезем (А-30) в количестве 1 г/кг почвы или концентрированную монокремниевую кислоту (Si – 200 мг/л) 200 мл/кг почвы, затем инкубировали ее при нормальных условиях и влажности 15-20 %. Через 1 мес в образцах определяли содержание доступного для растений фосфора (по Кирсанову или в водной вытяжке). Повторность эксперимента – 4-кратная.

Для определения влияния кремниевого удобрения на засухоустойчивость растений проведено два эксперимента в климатических камерах на кварцевом песке с аморфным диоксидом кремния (А-30), силикатом кальция и раствором монокремниевой кислоты в концентрации Si 150 мг/л. В предварительном опыте выявили оптимальный уровень полива растений для используемого грунта. В пластиковые сосуды емкостью 1 л помещали промытый кварцевый песок и вносили аморфный диоксид кремния или силикат кальция в

количестве 2 г/кг субстрата. Полив проводили из расчета 50 мл/сосуд в день для 100 %-ного и 20 мл/сосуд в день для 40 %-ного полива. В теплице поддерживали температуру 22-24°C днем и 20-22°C ночью. После 3 нед вегетации определяли накопление биомассы и общее содержание кремния в растениях.

Результаты и обсуждение. Как видно из табл. 1, все виды кремневых удобрений существенно повысили урожайность культур на всех почвенных разностях.

Кремневые удобрения увеличили количество доступного для растений фосфора (табл. 2). Известно, что основная доля фосфатов в дерново-подзолистых почвах (73 %) связана с минералами [11] – в основном это соединения кальция, железа, алюминия. По результатам наших исследований, в модельных, лабораторных и полевых опытах внесение активных соединений кремния в жидкой или твердой форме приводит к реакции замещения фосфат-аниона силикат-анионом из фосфатов кальция, алюминия и железа [11]. При этом происходит переход не доступного для растений фосфора в доступное состояние. Кроме того, активные соединения кремния препятствуют прочной фиксации фосфорных удобрений. Расчеты показали, что применение активных форм кремния может увеличить эффективность использования традиционных фосфорных удобрений на 30-50 %. Данный

Табл. 1. Урожайность (ц/га) сельскохозяйственных культур

Культура	Тип кремниевого удобрения	Контроль	Кремниевое удобрение
Рис	Раствор монокремниевой кислоты	13,4±1,1	26,0±2,7
Пшеница	Жидкое кремний-гуминовое удобрение	29,0±1,0	45,0±3,0
Кукуруза	Диатомиты	35,0±3,6	42,0±4,3
Ячмень	Силикат кальция	30,3±2,4	50,4±5,6
Огурцы	Диатомиты	213,6±10,4	396,9±14,3

Табл. 2. Содержание (мг/кг) доступных для растений фосфатов

Почвы	Водорастворимый фосфор		Фосфор по Кирсанову	
	конт- роль	кремниевое удобрение	конт- роль	кремниевое удобрение
Аморфный диоксид кремния				
Дерново-подзолистая целинная	—	—	41,3±3,7	63,9±1,2
Дерново-подзолистая окультуренная	—	—	129,6±2,4	214,0±3,7
Чернозем обыкновенный	—	—	56,0±1,8	74,3±2,4
Каштановая	—	—	141,5±3,5	212,4±5,4
Раствор монокремниевой кислоты				
Карбонатная аллювиальная тяжелосуглинистая целинная	7,3±0,6	10,6±0,3	58,0±2,3	79,4±3,2
Карбонатная аллювиальная тяжелосуглинистая окультуренная	11,6±0,8	20,4±0,5	63,8±3,2	104,8±4,5
Серая карбонатная	5,4±0,5	5,6±0,3	16,2±0,6	36,6±1,2

механизм также целесообразно использовать при расфосфачивании загрязненных почв.

В условиях оптимального увлажнения внесение в почву соединений кремния обусловило повышение накопления биомассы растениями ячменя на 10-53 % (табл. 3). Уменьшение нормы полива на 60 % вызвало его снижение в контрольных вариантах. Кремнийсодержащие соединения способствовали уменьшению отрицательного действия дефицита воды в почве на растения.

Таким образом, выявлена эффективность кремниевых удобрений в повышении урожайности ряда культур на различных почвах, количества доступного для растений фосфора, засухоустойчивости растений.

Литература. 1. *Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A. (eds.) Silicon in Food, Agriculture and Environment*, Proc. International Conf. "Silicon in Food, Agriculture and Environment", 2004 а. 2-5 August 2004, Pushchino, Russia. 33 с. 2. *Datnoff L.E., Snyder G. H. and G. H. Korndorfer Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science*, 8. Elsevier. - Amsterdam, 2001. 3. *Korndorfer G.H. III Silicon in Agriculture Conference, Uberlandia: Universidade Federal de Uberlandia*, 2005. 4. *Матиченков В.В., Алмосова Я. М., Бочарникова Е.А. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агротехника*. - 2002.

Табл. 3. Засухоустойчивость растений ячменя

Тип кремниевое удобрения	Оптимальное увлажнение		Дефицит влаги	
	контроль	кремниевое удобрение	контроль	кремниевое удобрение
Средняя масса 10 свежих проростков, г				
Силикат кальция	0,78±0,08	1,22±0,09	0,41±0,08	0,76±0,07
Раствор монокремниевой кислоты	0,78±0,08	1,17±0,08	0,41±0,08	0,51±0,08
Аморфный диоксид кремния	0,78±0,08	1,15±0,07	0,41±0,08	0,63±0,07
Сухая масса растений, г				
Аморфный диоксид кремния	0,28±0,04	0,39±0,05	0,21±0,03	0,29±0,04
Силикат кальция	0,28±0,04	0,31±0,06	0,21±0,03	0,23±0,04

- № 2. - С. 30-38. 5. *Ma J.F., Takahashi E. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*. Elsevier, The Netherlands, 2002. 6. *Матиченков В.В., Бочарникова Е.А., Дьяков В.М. Комплексное кремний-фосфорное удобрение. Патент Российской Федерации, № 2130445, 1997. 7. Next Generation Phosphate Fertilizer, www.synergysfert.com.au. 8. *Snyder G.H., Matichenkov V.V., Datnoff L.E. Silicon in: Handbook of Plant Nutrition*, Massachusetts University, 2006. - P. 551-568. 9. *Biel K.Y., Matichenkov V.V., Fomina I.R. Protective role of silicon in living systems // In: Functional Foods for Chronic Diseases. Advances in the Development of Functional Foods*, DM Martirosyan (Ed.), Copyright © by D&A Inc., Richardson, Texas, USA. - 2008. - V. 3. - P. 208-231. 10. *Matichenkov V.V. Silicon containing mixture for the activation of the plant natural protection mechanisms against stresses*, US Patent Application 20080226530, 2007. 11. *Матиченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе поля-растение / Док. дисс.-Пушкино, 2008.**

Поступила в редакцию 06.07.10

Bocharnikova Ye.A., Loginov S.V., Matychenkov V.V., Storozhenko P.A. Efficiency of silicon fertilizer in Russia
The investigation of the role and function of Silicon in the plant and soil-plant system has demonstrated that this element provide natural protection of cultivated plants against biotic and abiotic stresses. Si fertilization allow to obtain maximum production with minimum investment and protect environment against pollution and degradation.