

## РОЛЬ КРЕМНИЯ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД В ЗАЩИТЕ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**Куликова Алевтина Христофоровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

**Яшин Евгений Александрович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

433017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(8422) 55-95-68

e-mail: agroec@yandex.ru

**Ключевые слова:** кремний, высококремнистые породы, диатомит, защита посевов.

В работе показана роль кремния в защите посевов сельскохозяйственных культур от фитопатогенов. Установлена высокая эффективность в этом отношении высококремнистых пород, прежде всего, диатомита. При этом пораженность грибными заболеваниями томатов, сахарной свеклы снижалась до 80 % и более, ячменя на 14–35 %.

### Введение

В научной литературе имеются многочисленные сведения о том, что кремний способствует повышению устойчивости растений к поражению грибными заболеваниями, насекомыми-вредителями, полеганию, интоксикации любыми токсикантами, то есть формирует защитные функции организма [1–5]. Особенно широко исследовано благотворное влияние кремния на сопротивляемость злаковых растений грибным заболеваниям: глазковой пятнистости, вызываемой грибом *Helminiosporium oryzae*, стеблевой гнили (*Leptosphaeria raevini*), мучнистой росе (*Erysiphe graminis*) [3]. Однако в настоящее время не существует единого мнения относительно роли кремния в защите растений от патогенных микроорганизмов. Начальная теория, сформировавшаяся к 60-м годам прошлого века, состояла в признании образования механического барьера на пути распространения инфекции. При этом считалось, что кремний способствует укреплению клеточных стенок эпидермиса, которые для грибов, насекомых и других вредителей становятся трудно преодолимым барьером [4]. Теория получила широкое распространение и не отрицается в настоящее время. Так, результаты работ Г.В. Ефимовой и С.А. Дякунчак [5] показали, что выращивание риса в присутствии метасиликата натрия способствует утолщению оболоч-

чек клеток эпидермиса. Фитопатологическая оценка зараженных пирикуляртиозом листьев риса подтвердила, что при внесении метасиликата натрия растения поражались в меньшей степени.

Между тем, параллельно развитию данной теории, доказываемой соответствующими экспериментами, было установлено, что не всегда существует зависимость между кремниевым питанием и упрочнением листовой поверхности растений. Было сделано заключение, что кремний защищает растения от грибной инфекции, однако увеличение механической прочности растительной ткани недостаточно, чтобы объяснить механизм защиты [7]. Следовательно, физический барьер на пути патогена является лишь частью комплексной оборонительной реакции растения, в которую вовлечен кремний.

Согласно другой точке зрения, кремний является стимулятором естественной защитной системы растения. М. Gherif и др. [8] установлено, что кремниевое питание растений способствует повышению активности ферментов хитиназ, способных разрушать гифы патогенных грибов. Аналогичные результаты получены А. Fawe [9]. А. Fawe (2001) на основе экспериментов с огурцами предположил, что кремний играет активную роль в увеличении способности растений сопротивляться инфекции за счет стимули-

рования природных защитных реакций и определяет продолжительность ответной реакции растения.

По мнению В.В. Матыченкова [4], активные формы кремния способствуют быстрому и направленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растению преодолеть или адаптироваться к стрессу. Последнее подтверждается и тем, что содержание кремния возрастает в тканях живых организмов, подверженных стрессу. Разнообразие растений (как кремнефилов, так и некремнефилов), положительно отзывающихся на дополнительное питание кремнием, показывает, что защитная функция кремния универсальна.

Из вышеуказанного вытекает важнейший вывод о возможности частичной замены химических средств защиты растений кремнийсодержащими удобрениями. Проведенные нами исследования, целью которых являлось в том числе изучение защитной роли высококремнистых пород, применяемых в качестве силикатных удобрений, подтверждают данную гипотезу.

#### **Объекты и методы исследований**

Объектами исследования являлись сельскохозяйственные культуры: яровая пшеница, ячмень, сахарная свекла, томат и высококремнистые породы: диатомит, опока, а также кремнийорганический регулятор роста растений Мивал-Агро. Изучение защитной роли высококремнистых пород при возделывании сельскохозяйственных культур проводилось в мелкоделяночных и полевых опытах кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина», начиная с 2000 года. Схемы опытов приведены в процессе обсуждения результатов. Почва опытного поля чернозем выщелоченный среднесуглинистый.

#### **Результаты исследований**

В последние годы в связи с дороговизной минеральных удобрений и возможными их негативными последствиями в окружающей среде, а также необходимостью снижения пестицидной нагрузки на агроэкосистемы и получения экологически безопасной продукции становится все более

актуальным вовлечение в сферу сельскохозяйственного производства природных полиминералов, содержащих кремний и другие элементы питания.

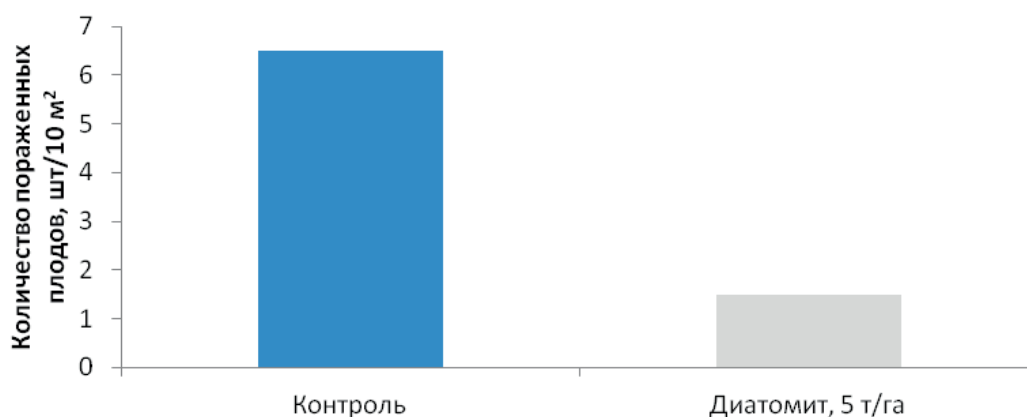
Особый интерес в этом отношении представляют наноструктурированные высококремнистые породы, прежде всего, опалкристобалиты (диатомиты, опоки, трепелы), представленные преимущественно аморфным (активным) кремнеземом.

Высококремнистые породы обладают рядом свойств, важных с агрономической точки зрения. Во-первых, вышеуказанные породы – это природные сорбенты со специфическим характером пористости, обладающие высокой адсорбционной и ионообменной емкостью (0,8 – 0,12 г-экв/кг), поэтому способны удерживать в пахотном слое элементы питания от выноса их за пределы корнеобитаемого слоя, которые затем высвобождаются и используются растениями. Во-вторых, они (высококремнистые породы) содержат в своем составе до 1,5 – 2,0 % калия, серы и ряд микроэлементов. Однако, прежде всего, они могут быть использованы как кремниевое удобрение (с содержанием оксида кремния > 80 %), необходимость применения которого (так же, как азото-, фосфорно-, калийных) доказана.

Не касаясь многостороннего влияния высококремнистых пород на систему почва – растение, в данной работе мы приводим результаты изучения их защитных свойств.

Первые опыты по изучению эффективности диатомита в системе удобрения были проведены в 2000 – 2004 гг. с овощными культурами как в мелкоделяночных, так и производственных опытах. Результаты опытов показали очень высокую эффективность в качестве удобрения (урожайность огурцов повышалась на 20 %, томатов на 13 %, моркови на 14 %, столовой свеклы на 13 %), в том числе защите растений.

Так, при возделывании томатов применение в качестве кремниевого удобрения диатомита (5 т/га) в чистом виде почти или полностью защищало растения от заболевания вершинной гнилью (*Bacterium Jycopersici Burgn*) и резко сокращало сроки начала плодоношения и наступления товарной спелости плодов (рисунок).



**Рис. 1 - Влияние диатомита на пораженность плодов томатов вершинной гнилью**

Аналогичные результаты получены в производственных опытах (на площади 5 га (доза диатомита 5 т/га) растения на опытном варианте практически не поражались и снижение заболеваемости томатов при внесении диатомита в почву составляло до 80 %, урожайность их при этом повышалась на 3,5 т/га (44 %).

В 2007 – 2009 гг. изучалось влияние диатомита, кремниевых комплексов на его основе и минеральных удобрений на пораженность растений церкоспорозом и урожайность корнеплодов сахарной свеклы. Сахарную свеклу поражают более 60 видов возбудителей болезней различной природы в период вегетации и хранения корнеплодов. Церкоспороз, вызываемый грибом *Cercospora Biticola*, является одним из

самых вредоносных заболеваний сахарной свеклы.

В табл. 1 представлены данные результатов фитосанитарного обследования посевов сахарной свеклы в течение июля – сентября и урожайность корнеплодов.

Следует отметить, что защитное действие диатомита как кремнийсодержащего материала проявлялось при значительно меньших его дозах (40 кг/га). Данные, представленные в таблице, отражают степень поражения листьев перед уборкой. Наиболее сильное поражение их наблюдалось на контрольном варианте, что, прежде всего, обусловлено недостаточностью элементов питания и полным отсутствием средств защиты. Двукратное применение Фундазола и Шарпея полностью обеспечило защиту

**Таблица 1**

**Пораженность церкоспорозом и урожайность сахарной свеклы**

| Вариант                             | Степень поражения | Распространение, % | Характерные признаки поражения                        | Урожайность, т/га |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|
| Контроль                            | Сильная           | 65                 | Отмерли листья и часть листьев среднего яруса         | 23,8              |
| N60P60K60                           | Средняя           | 42                 | Поражение листьев верхнего и частично среднего ярусов | 32,4              |
| N60P60K60 + СЗР (Фундазол + Шарпей) | Отсутствует       | 1                  | Отсутствует                                           | 32,9              |
| Диатомит (40 кг/га)                 | Незначительно     | 3                  | Отдельные пятна на листьях нижнего и среднего ярусов  | 28,8              |
| НСР <sub>05</sub>                   |                   |                    |                                                       | 0,5               |

Таблица 2

## Пораженность посевов ячменя корневыми гнилями, %

| №<br>п/п | Вариант                                       | 2011 г.  | 2012 г. | 2013 г. | Отклонение от контроля, % |               |
|----------|-----------------------------------------------|----------|---------|---------|---------------------------|---------------|
|          |                                               |          |         |         | абсолютная                | относительная |
| 1        | Контроль                                      | 19,9     | 25,0    | 15,3    | 20,1                      | -             |
| 2        | СЗР (Беномил 500)                             | 18,1     | 12,8    | 11,8    | 14,2                      | -29           |
| 3        | Диатомит 40 кг/га<br>(в рядки)                | 19,0     | 21,9    | 11,0    | 17,3                      | -14           |
| 4        | Диатомит 30 кг/т<br>(обработка семян)         | 17,4     | 17,4    | 11,3    | 15,4                      | -23           |
| 5        | Мивал – Агро 5 г/т<br>(обработка семян)       | 16,1     | 14,8    | 10,5    | 13,8                      | -31           |
| 6        | N40P40K40 (под предпо-<br>севную культивацию) | 18,2     | 20,8    | 16,0    | 18,3                      | -9            |
| 7        | NPK + СЗР                                     | 16,6     | 17,8    | 12,0    | 15,5                      | -23           |
| 8        | NPK + диатомит<br>(в рядки)                   | 16,9     | 16,9    | 11,3    | 15,0                      | -25           |
| 9        | NPK + диатомит<br>(обработка семян)           | 16,1     | 11,2    | 12,0    | 13,1                      | -35           |
| 10       | NPK + Мивал-Агро                              | 15,5     | 10,0    | 10,3    | 11,9                      | -41           |
|          | HCP <sub>05</sub>                             | Фактор А | 0,8     | 1,0     | 0,6                       | -             |
|          |                                               | Фактор В | 1,3     | 1,5     | 1,0                       | -             |

посевов. Однако в варианте с применением диатомита в дозе лишь 40 кг/га пораженность листьев практически отсутствовала.

Последнее свидетельствует о том, что диатомит обладает фунгицидным действием и по своей эффективности не уступает используемым в опыте традиционным средствам защиты растений, а урожайность корнеплодов повышалась на 5 т/га.

Изучение эффективности кремнийсодержащих материалов, в том числе диатомита и кремнийсодержащего регулятора роста растений Мивал – Агро, в защите посевов ячменя от корневых гнилей проводилось в 2011 – 2013 гг.

Корневые гнили зерновых (гороха, пшеницы, ячменя) вызываются чаще всего полупаразитными грибами родов *Fusarium*, *Bipolaris*, *Cercospora*, *Ophiobolus*, проявляющиеся в виде загнивания, разрушения корневой и прикорневой части растения и приводящих к потере 30 – 35 % урожая в зависимости от зоны возделывания. Химическое протравливание семян эффективно и стабильно подавляет их, однако чревато возможными негативными последствиями для окружающей среды. И не случайно во

всем мире ведется интенсивный поиск альтернативных экологически безопасных препаратов, обладающих высокой иммуностимулирующей и антистрессовой активностью [10].

Результаты наших исследований показали, что использование в технологии возделывания ячменя минимальных доз диатомита (40 кг/га при внесении в почву и 30 кг/т при предпосевной обработке семян) позволяет достичь результатов, сравнимых с применением средств защиты растений, а на фоне минеральных удобрений – превзойти эффективность СЗР (табл. 2). При этом пораженность корневыми гнилями растений ячменя в среднем за 3 года при применении как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями снижалась на 14 – 41 % (относительных) [11].

При возделывании зерновых культур одной из значительных проблем становится полегание, которое является крайне неблагоприятным процессом, приводящим к потере урожая до 50 % и более. В связи с этим предлагаются различные препараты, позволяющие увеличить прочность стебля.

В литературе встречается множество

**Устойчивость к полеганию яровой пшеницы, баллы\***

| Вариант               | 2003 г. | 2004 г. | 2005 г. | 2006 г. | Средняя |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Контроль              | 4,0     | 3,8     | 3,8     | 4,3     | 3,9     |
| N40P40K40             | 3,3     | 3,0     | 2,9     | 3,9     | 3,3     |
| Диатомит 3 т/га       | 4,5     | 4,3     | 4,2     | 4,8     | 4,5     |
| Диатомит 3 т/га + N20 | 4,4     | 4,3     | 4,3     | 4,7     | 4,4     |
| Диатомит 3 т/га + N40 | 4,2     | 4,1     | 4,0     | 4,5     | 4,2     |
| НСР <sub>05</sub>     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,3     | -       |

\* - *неполегающие растения – 5 баллов*

- *полегшие, но выпрямившиеся или полегшие в слабой степени – 4 балла*

- *со средней степенью полегания – 3 балла*

- *сильно полегшие, затрудняющие машинную уборку – 2 балла*

- *сильно полегшие задолго до уборки и практически не пригодные к машинной уборке – 1 балл.*

примеров повышения прочности стеблей растений и увеличения их устойчивости к полеганию в результате применения кремнийсодержащих препаратов [3, 6, 12].

В стеблях злаков кремний отлагается в стенках и междоузлиях, что существенно повышает их прочность, сужает просвет стебля и препятствует развитию и передвижению личинок насекомых. Он также внедряется в клетки экзодермы, располагаясь во внутренних тангенциальных и радиальных стенках.

Четырехлетнее (2003 – 2006 г.г.) изучение устойчивости к полеганию яровой пшеницы показало, что внесение диатомита – один из результативных способов повысить устойчивость растений к полеганию (табл. 3).

Вследствие повышения урожайности при внесении минеральных удобрений устойчивость растений к полеганию понижается, а при совместном внесении с диатомитом – повышается. Следовательно, применение диатомита не только в чистом виде, но и совместно с минеральными удобрениями (прежде всего с азотными) позволяет значительно снизить потери зерна из-за полегания культур.

Еще более поразительные результаты приводит В.Н. Капранов [12]: растения тритикале при внесении диатомита в дозе 1200 кг/га выдерживали при неблагоприятных условиях в 2 раза больше механические нагрузки, сохраняя при этом устойчивость.

Следовательно, применение диатомита как кремнийсодержащего материала

**Таблица 3**

позволяет формировать устойчивые против болезней и вредителей, а также полегания посевы. Что касается грибной инфекции, она обычно развивается из споры, попавшей на поверхность органа растения. Вначале формируются аппросории, закрепляющий тело гриба. Затем с помощью гидролизующих ферментов гриб разрушает кле-

точную стенку и проникает во внеклеточное пространство, образуя первичные гифы и гаустории. При этом без соответствующей защитной реакции со стороны растения развитие гриба продолжается, и вирулентность увеличивается за счет формирования экзо- и зооспор [13]. Растения способны противостоять развитию инфекции. На начальном этапе происходит увеличение синтеза каллозы, лигнина и гликопротеинов с целью упрочнения клеточных стенок. Затем активируется синтез специфических ферментов, к числу которых относятся хитиназы, гидролизующие клетки организма – паразита. Заключительной стадией данного процесса является синтез фитоалексинов – низкомолекулярных соединений класса флавоноидов и изопреноидов, оказывающих антимикробное действие [14]. Вторая стадия защитной реакции связана с формированием у растения иммунитета к данному патогену, в котором (как и в первой стадии) большую роль играет кремний. Таким образом, попытка повторного инфицирования будет предотвращена, в том числе и не пораженных инфекцией клеток [15].

### **Выводы**

В настоящее время роль кремния в формировании иммунитета и повышении устойчивости растений (сельскохозяйственных культур) от фитопатогенов, а также от неблагоприятных факторов окружающей среды (результаты изучения которых не



представлены в данной статье), доказана. Однако точный механизм, посредством которого кремний модулирует защитные свойства организма, не до конца выяснен. Одно несомненно, кремний очевидно занимает центральное место в ответной реакции растений на любые стрессы, в том числе вызванные действием патогена. Он способен активировать иммунную систему растения, что приводит к синтезу и аккумуляции защитных соединений в клетках, подверженных инфекции.

Вышесказанное позволяет использовать высококремнистые породы одновременно не только в качестве эффективного кремниевого удобрения, но и экологически безопасного средства защиты посевов сельскохозяйственных культур. По своей эффективности последние мало или практически не уступают традиционным химическим средствам защиты растений.

В работе использованы экспериментальные данные, полученные в соответствующие годы автором совместно с аспирантами Яшиным Е.А., Даниловой Е.В., Кудряшовым А.В. и Смываловым В.С.

#### Библиографический список

1. Yoshida, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant / S.Yoshida // Bull. Nat. Inst. Agric. -Sci, 1965.- Ser. B.- № 15. – P. 1 – 58.
2. Yoshida, S. The physiology of silicon in rice / S.Yoshida // Food Fert. Tech. Centr. Bull, Taipei.- Taiwan, 1975. – № 4. – P. 81.
3. Воронков, М.Г. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Л. Лукевиц .- Рига: Зинатне, 1978. – 587 с.
4. Матыченков, Владимир Викторович. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дисс. ... д-ра биологических наук / В.В. Матыченков. – Пушино, 2008. – 34 с.
5. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / А.В. Козлов, И.Б. Уромова, Е.А. Фролов, К.Ю. Мозолева // Международный студенческий научный вестник.- 2015. - № 1. – С. 39 – 49.
6. Ефимова, Г.В. Анатомоморфологическое строение эпидермиса листьев риса и повышение его защитной функции под влиянием кремния / Г.В. Ефимова, Е.А. Дякунчак //Сельскохозяйственная биология.-1986. – С. 57 – 61.
7. Okuda, A. The role of silicon the mineral Nutrition of the rice / A.Okuda, E. Takahashi // John Hopkins Press.- Baltimore, 1965. Plant. –P. 123 – 146.
8. Studies of silicon distribution in wounded and Pythium Ketrimum infected cucumber plants / M.Cherif , J.Menzies, N.Benhamou, R. Belanger // Phisiol. Mol. Plant.- Pathol, 1992.– P. 337 – 385.
9. Silicon and disease resistance in dicotyledons Jn. / A.Fawe, J.Menzies, M. Cherif, R. Belanger // Silicon in Agiculture.-2001. – PP. 159–170.
10. Коваленков, В.Г. Усложняющаяся фитосанитарная ситуация требует новых решений / В.Г. Коваленков // Защита и карантин растений.- 2010. – № 7. – С. 4 – 7.
11. Куликова, А.Х. Эффективность кремнийсодержащих препаратов в защите посевов ячменя и получение экологически безопасной продукции / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, В.С. Смывалов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013. – № 4 (24). – С. 17 – 24.
12. Капранов, Владимир Николаевич. Использование природных агрохимических средств в качестве источников минерального питания полевых культур: автореф. дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / В.Н. Капранов. – М., 2009. – 42 с.
13. Семенкова, И.Г. Фитопатология / И.Г. Семенкова .- М.: Академкнига, 2003. – 480 с.
14. Wan, J. Actuation of a mitogen - activated protein Kinase pathway in Arabidopsis by chitin / J.Wan, S. Zhang, J.Syacey //Moe. Plant Pathol. 20.-2004. – P. 5556-5567.
15. Shulse, E. Plant Ecology. / E. Shulse, E. Beck, K. Muller-Hohenstein.- Berlin : Springer-Verlag, 2005. – 702 p.