

КРЕМНИЙ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РАСТЕНИЙ ПРОТИВ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ

**Пахалин В.А., студент 1 курса факультета агротехнологий, земельных
ресурсов и пищевых производств**

**Научный руководитель – Маллямова Э.Н., кандидат педагогических
наук, доцент**

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

***Ключевые слова:** Кремний, патогенные грибы, антимикробные соединения, фитоалексины*

В данной работе речь идет о кремнии – это биоактивный элемент, который смягчает абиотический и биотический стрессы и увеличивает сопротивляемость растений к патогенным грибам. Многие исследования позволяли предположить, что кремний активизирует защитный механизм растения, однако природа взаимодействия между элементом и путями метаболизма, ведущими к сопротивляемости, остается неясной.

Введение

Кремний был уже давно известен в качестве средства, уменьшающего действие различных патогенов. С самого начала предполагалось, что откладывание аморфного кремния в протопластах листьев предотвращает проникновение патогенных грибов. И хотя этот механизм был частично объяснен профилактическим действием кремния, мономерный кремний также считался биологически активным и запускающим более быструю и длительную биологическую защиту растений. В данном обзоре представлены различные аспекты биохимии кремния в контексте возможного взаимодействия с защитной системой растения.

Сопротивляемость при посредничестве кремния

На основе наблюдений Fawe предлагал модель для объяснения того, как кремний должен играть роль в индуцированной защите [1]. Согласно их модели биоактивность кремния была связана известными активаторами/вторичными

мессенджерами SAR, посредством чего он должен был действовать как модулятор, влияющий на временную и длительную защиту. Схоже с вторичными мессенджерами, влияние кремния на вторичный метаболизм характерно только после извлечения. Кремниевые активаторы характеризуются эффектом насыщения. Различия между известными SAR активаторами и кремнием это отсутствие активности при прерывании кремниевого питания, так как полимеризация кремния ведет к их дезактивации в качестве индуцированной защиты. Это сопоставление побуждает авторов предположить, что кремний действовал как сигнал в иницировании (запуске) оборонительной реакции растения.

Модуляция первичного преобразования сигнала

Кремниевая кислота может модулировать активность внутриклеточной сигнальной системы. Hutcheson [3] различал три класса активных оборонительных механизмов. Первичный ответ происходит в клетке инфицированной патогеном, вторичный ответ индуцируется элициторами и ограничивается клетками, граничащими с местом инфекции и системно приобретенный отклик передается во все ткани растений при помощи гормонов. Кремний, вероятно, задействован в первичном отклике и усиление преобразования сигнала должно привести к увеличению сопротивляемости системы. Внутриклеточная сигнализация ведет к экспрессии оборонительных генов и гиперчувствительной оборонительной реакции, структурной модификации клеточных стенок, также синтез гормонов стресса и аккумуляция фитоалексинов, синтез антимикробных соединений и PR-протеинов. Как упоминалось ранее, кремний вовлекается в процессы, ведущие к образованию фитоалексинов. Целью растительной сигнализации на вторжение патогена является клеточное ядро, которое сохраняет информацию о начальных (первичных) протеинах и синтезе антимикробных соединений. Контроль за генной экспрессией посредством фосфорилирования факторов транскрипции и ее ингибирования – это главная защитная реакция растения. Сигналы, ведущие к экспрессии в рамках защитной реакции растения, передаются в ядро посредством активации специфических киназных/фосфатазных каскадов [3]. Ответные реакции на биотические стрессы сильно зависят от митогенактивирующей протеинкиназы. Протеинкиназа посылает информацию в ядро посредством

фосфорилирования гидроксильных групп на аминокислотных остатках. Кремний способен связываться с гидроксильными группами и может таким образом влиять на активность протеина и конформацию. Принцип действия кремния в преобразовании сигнала можно установить из взаимодействия с фосфором. Hall и Morrison сообщали о взаимодействии между фосфором и кремнием в ячмене. Считается, что внутреннее увеличение фосфора и вообще удобрение фосфором связано с взаимодействием с катионами металлов, таких как Mg и Fe [4]. Металлы выполняют структурную роль в ферментах. Ферментативная дисфункция может быть вызвана отсутствием, собственно, металлов или наличием ионов токсичных металлов[5]. Или кремний играет роль в изолировании катионных металлов, или посредством прямой модуляции активности протеина вовлекается в процесс преобразования сигнала – еще предстоит узнать.

Кремний и индуцированное системное сопротивление

Растения, принимающие кремний, транспортируют его в форме кремниевой кислоты во все ткани. При атаке патогенов инфицированы ткани будут синтезировать, среди прочих химических реакций, антимикробные соединения с системными стрессовыми сигналами, таких как салициловая жасминовая кислоты, а также этилен. В данной клетке, если кремний на самом деле модулирует сигнальные события, это ведет к синтезу антимикробных препаратов. Таким образом, кремниевая кислота сама по себе является вторичным мессенджером и должна играть положительную роль в локальной и системной обороне.

Выводы

Кремний является биоактивным элементом в различных биологических системах, но способы его воздействия остаются предметом обсуждения. Было показано увеличение экспрессии природных оборонительных механизмов и аккумуляция фитоалексинов как в одно - так и в двудольных. Так как фитоалексины являются очень специфичными в каждом виде растения, кремний работает во всех растительных организмах одинаково, что приводит к увеличению экспрессии генов, ответственных за стресс - белки. Кремний в форме кремниевой кислоты действует локально посредством индуцированной оборонительной реакции в пораженных клетках и также вносит вклад в системную сопротивляемость увеличением производства гормонов стресса. Однако, точный механизм, посредством которого кремний модулирует сигнализацию растения остается неясным. Кремний может действовать как

потенцирующее средство в оборонительной реакции растения или как активатор сигнальных протеинов. Таким образом, кремний может взаимодействовать с несколькими ключевыми компонентами, непосредственно ведущими к повышенной сопротивляемости против патогенных грибов.

Библиографический список:

1. Fawe, A., Menzies, J.G., Che ´rif, M. and Be ´langer, R.R. (2001) Silicon and disease resistance in dicotyledons In: Silicon in Agriculture (Datnoff, L.E., Snyder, G.H. and Korndorfer, G.H., Eds.), pp. 159–170. Elsevier, Amsterdam.
2. Hutcheson, S.W. (1998) Current concepts of active defense in plants. Annu. Rev. Phytopathol. 36, 59–90.
3. Wan, J., Zhang, S. and Syacey, G. (2004) Activation of a mitogenactivated protein kinase pathway in Arabidopsis by chitin. Mol. Plant Pathol. 20, 5556–5567
4. Ma, J.F., Miyake, Y. and Takahashi, E. (2001) Silicon as a beneficial effect for crop plants In: Silicon in Agriculture (Datnoff, G.H., Snyder, G.H. and Korndorfer, G.H., Eds.), pp. 17–40. Elsevier, Amsterdam.
5. Melnikov M. Linguistic corpus as a means of adaptation of modern scientific agricultural approaches/Melnikov M., Mallyamova E., Morozova M.// BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). -2020. - C. 00182.

SILICON AND PLANT DISEASE RESISTANCE AGAINST PATHOGENIC FUNGI

Pakhalin V. A.

Key words: *Silicon, pathogenic fungi, antimicrobial compounds, phytoalexins*

Silicon is a bioactive element that mitigates abiotic and biotic stresses and increases plant resistance to pathogenic fungi. Many studies have suggested that silicon activates the plant's defense mechanism, but the nature of the interaction between the element and the metabolic pathways leading to resistance remains unclear.