

**В.В. Гончарук, Р.Д. Чеботарева, В.Ф. Коваленко,
Е.А. Пасичная**

БИОТЕСТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-ОРГАНИЗМОВ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ, ОБРАБОТАННОЙ МИНЕРАЛОМ КРЕМНИЕМ

*Проведено биотестирование растительными тест-организмами водопроводной воды, обработанной в статических условиях минералом кремнем серого и черного цвета. В качестве тест-организмов использовали репчатый лук (*Allium cepa*) и зерна пшеницы (*Triticum vulgare*). Показано, что активированная кремнем вода стимулирует метаболические процессы при проращивании репчатого лука и зерен пшеницы. Наблюдается стимулирование развития корневой системы у тестовых растительных организмов, что указывает на повышение токсикорезистентности растений на ранних этапах развития (стартовый эффект). Полученные данные тестирования свидетельствуют о высокой биологической активности кремния в водной среде, направленной на стимуляцию роста и развития, а также на повышение устойчивости к токсическим воздействиям растительных организмов.*

Ключевые слова: биотестирование воды, кремний, растительные тест-организмы *Allium cepa*, *Triticum vulgare*.

Введение. В воде естественных водоемов кремний присутствует в виде соединений кремниевой кислоты в разных состояниях. К истинно растворенным соединениям кремния относятся ортокремниевая, метакремниевая и поликремниевая кислоты. Кремний существует в природе в виде оксидов (кварц, опал, халцедон), а также входит в состав разных силикатов и алюмосиликатов (полевых шпатов, слюд, глин). Значительная часть кремния присутствует в донных отложениях водоемов в виде аморфного биогенного кремнезема, который образуется в результате отмирания органического материала, оседающего на дно [1].

Установлено [2 – 4], что кремний играет важную физиологическую роль в метаболизме клеток водорослей, в частности диатомовых. Повышение его концентрации содействует росту численности и размера клеток, ускорению их роста, образованию колоний и способствует видовому разнообразию диатомовых водорослей. При этом повышенное содержание кремния в воде отрицательно сказывается на развитии сине-зеленых водорослей. У высших растений кремний выполняет опорную функцию, которая обеспечивает гибкость и прочность стебля, определяемую содержанием в растительных клетках кремниевой кислоты.

© В.В. ГОНЧАРУК, Р.Д. ЧЕБОТАРЕВА, В.Ф. КОВАЛЕНКО, Е.А. ПАСИЧНАЯ, 2011

Следует отметить, что до сих пор не в полной мере выяснен механизм действия минералов кремнезема, в том числе наиболее интересного из них – черного кремня, на воду и развитие биологических объектов, которые эту воду потребляют. Поэтому исследования, посвященные изучению механизма взаимодействия с водой кремнистых пород (в частности, кремня различных месторождений) [5 – 7], а также изучению условий применения этих минералов для улучшения качества воды [8 – 10], являются достаточно перспективными.

Поиск и создание эффективных биологически активных препаратов, стимулирующих рост и повышающих стойкость растений в неблагоприятных условиях возделывания почвы, на основе доступного и дешевого сырья – одна из задач современной науки [11]. В этой связи необходимо изучение биологических свойств экологически чистых препаратов, в том числе и неорганических микроэлементов. Особый научный интерес в этом плане представляет кремний, так как он признан одним из жизненно необходимых микроэлементов, играющих важную роль в физиолого-биохимических процессах растительных организмов [12]. Однако сведения о влиянии кремния на функционирование и развитие биологических систем и организмов довольно немногочисленны и зачастую противоречивы. Поэтому нужны углубленные исследования влияния минерала, из которого при контакте с водой экстрагируются соединения кремния, на рост и развитие растительных организмов. Эти исследования позволят оценить перспективность использования воды, настоянной на минерале кремне, – как экологически чистого стимулятора вегетации растений с целью повышения их производительности.

Исследования показали, что органические остатки в кремне – это эффективные биокатализаторы, способные ускорять окислительно-восстановительные реакции в водных растворах тканей растений [13, 14]. Они являются основой для построения сложных органических соединений – хлорофилла и гемоглобина. Метаболические процессы, которые происходят на клеточном уровне, приводят к изменению общей формы и структуры как отдельных органов, так и растительного организма в целом (морфогенез).

На начальной стадии развития растений формируются основные системы регуляции на внутриклеточном и организменном уровнях, вызывающие активацию соответствующих реакций роста и развития растения. В этот период происходит формирование фотосинтетического аппарата и процесса фотосинтеза, который заметно обуславливают реализацию генетической программы жизненного цикла растений. Эта начальная фаза развития довольно чувствительна к влияниям биологически активных веществ, которые позволяют целенаправленно воздействовать на формирование растений.

Сведения о том, какие физико-химические показатели воды меняются при контакте с кремнем и как вода, настоянная на нем, влияет на живые организмы, в том числе и на растительные, в литературе отсутствуют. Поэтому цель нашей работы – изучение влияния кремниевой воды на рост и развитие растительных тест-объектов.

Методика эксперимента. В качестве водного объекта исследования была использована водопроводная вода. Для оценки качества водопроводной воды, активированной кремнем, использовали методы биотестирования с помощью репчатого лука (*Allium cepa*) и зерен озимой пшеницы (*Triticum vulgare*) сорта "Мироновская 808".

Изучено влияние воды, активированной серым и черным кремнями (минералы месторождений Украины), на морфометрические (линейно-весовые) показатели растений на ранних этапах онтогенеза (проращивание луковиц и семян).

Для исследования роли кремния в жизнедеятельности растительных организмов использовали методику проращивания репчатого лука (*Allium cepa*) – представителя однодольных растений. Процедура проращивания состоит в выдерживании откалиброванных посадочных луковиц в исследуемой воде [15, 16]. Этот метод позволяет оценить взнос физико-химических влияний, который проявляется в ингибировании или стимулировании роста корешков луковиц [17]. Метод основан на регистрации средних показателей длины и массы корешков 10-ти пророщенных луковиц через 72 ч экспозиции.

Для более глубокого изучения влияния активированной кремнем воды на функционирование и развитие тестовых растительных организмов были проведены опыты с использованием семян пшеницы (*Triticum vulgare*). Это растение является важной сельскохозяйственной культурой, и многие исследователи используют пшеницу как стандартный растительный тест-организм [18]. При процедуре биотестирования с помощью *Triticum vulgare* регистрируются энергия прорастания семян, длина и биомасса корешков и проростков в течение 72 ч экспозиции.

В контрольном варианте семена пшеницы замачивают и проращивают в отстоявшейся в течение 5 сут водопроводной воде, а в опытном варианте – в той же водопроводной воде, но активированной серым или черным кремнем в течение 7 сут. Семена пшеницы проращивали в стандартных чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге.

Полученные данные биотестирования статистически обрабатывали, определяя достоверность полученных результатов с помощью коэффициента Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. В опытах с проращиванием репчатого лука в активированной кремнем водопроводной воде показательным оказалась масса корешков. Так, в случае с серым кремнем средняя масса корешков была достоверно выше массы корешков контрольных луковиц на 19, а с черным кремнем – на 21% (рис. 1) по сравнению с отрицательным контролем (водопроводная вода). При этом длина корешков опытной группы была близка к значениям контрольных показателей.

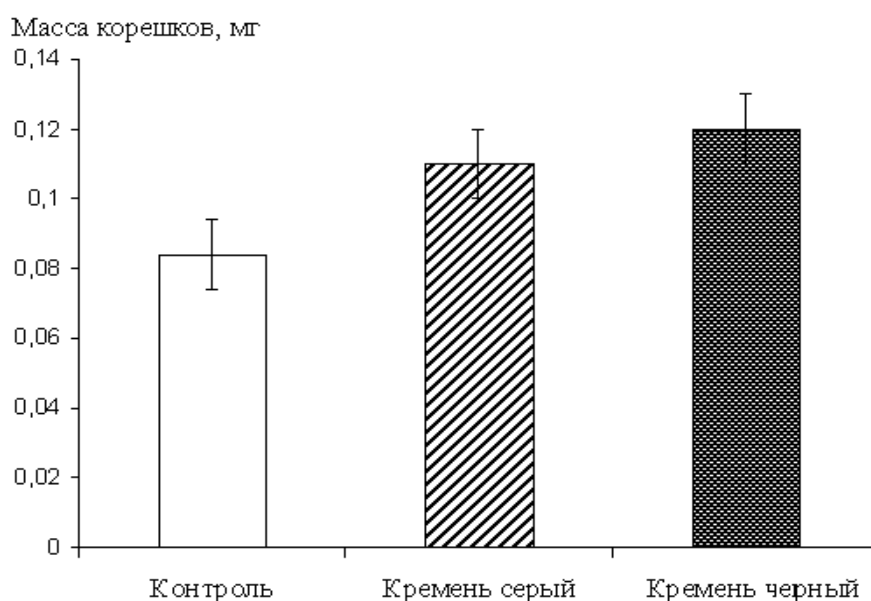


Рис. 1. Влияние активированной кремнем воды на массу корешков лука (Allium cepa)

Таким образом, активированная кремнем вода стимулировала развитие корневой системы у репчатого лука. Еще больший эффект наблюдался при проращивании зерен пшеницы в воде, обработанной кремнем.

Зрелые семена пшеницы в большинстве случаев сохраняют 5 – 10% влаги, поэтому их проращивание возможно только в том случае, если семена поглощают достаточное количество воды, которая необходима для протекания физиолого-биохимических процессов в клетках. При этом в зернах активируются ферменты, которые принимают участие в расщеплении и поглощении питательных веществ, накапливающихся в период формирования зародыша. В зародыше начинается деление и размножение клеток, из которых формируются ткани корешков и проростков [18, 19]. Следует отметить, что как объект биотестирования семена пшеницы выгодно отличаются от репчатого лука, который сам по себе имеет высо-

кое содержание влаги (70 – 80%). То есть ткани лука имеют достаточное количество собственной влаги для стартового развития и меньше нуждаются во внешней водной среде, что может вызвать снижение чувствительности лука как тест-объекта.

Проведена сравнительная оценка длины и массы проростков и корешков пшеницы (*Triticum vulgare*) при проращивании в отстоянной водопроводной воде (отрицательный контроль) и той же воде после настаивания на черном и сером кремнях в течение 5 сут.

Результаты исследований влияния активированной кремнем воды на проращивание семян пшеницы показали, что у опытных растений выявлено увеличение длины проростков на 13% при активации воды серым кремнем и на 3% – черным кремнем (рис. 2). При этом масса проростков не имела достоверных отличий по сравнению с контрольными величинами.

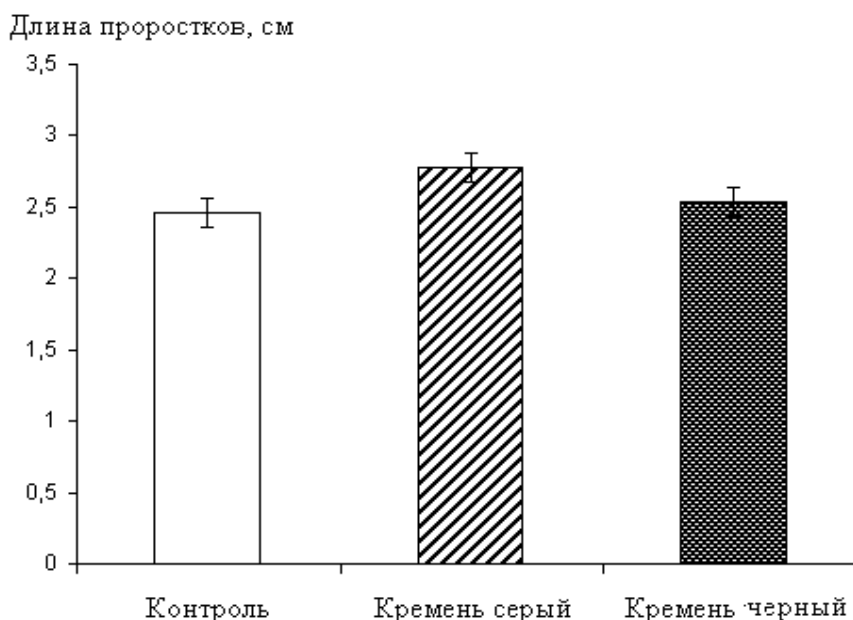


Рис. 2. Влияние активированной кремнем воды на длину проростков семян пшеницы (*Triticum vulgare*)

Как видно из данных рис. 3, кремниевая вода оказывает стимулирующее действие также и на длину корешков проращенной пшеницы: средняя длина в опытах с серым кремнем на 42%, а с черным кремнем на 49% превышала контрольные показатели, полученные на отстоянной водопроводной воде.

Таким образом, активированная кремнем вода стимулирует метаболические процессы при проращивании семян пшеницы. Большее разви-

тие корневой системы у тестового растительного организма указывает на повышение неспецифичной стойкости растения на ранних этапах развития (стартовый эффект).

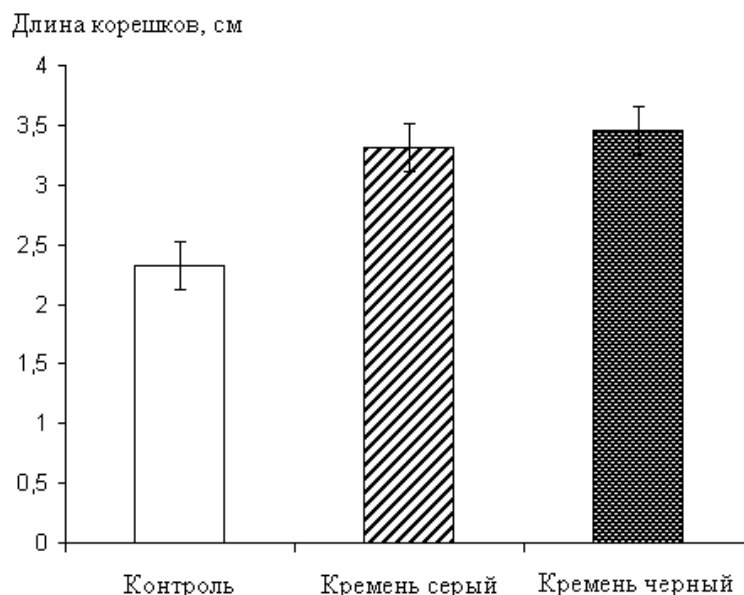


Рис. 3. Влияние активированной кремнем воды на длину корешков семян пшеницы (*Triticum vulgare*)

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой биологической активности кремня в водной среде, и создают теоретическую основу для использования этого минерала в качестве стимулятора роста и развития растительных организмов.

Выводы. Обработанная кремнем водопроводная вода становится менее токсичной для растительных тест-организмов – репчатого лука (*Allium cepa*) и пшеницы (*Triticum vulgare*), что проявляется в стимуляции роста и развития корешков и проростков, а также выражается в увеличении их длины и массы. Процесс стимуляции роста корешков и проростков более выражен у пшеницы, так как она сразу на ранних этапах развития поглощает водную среду – обработанную кремнем воду.

Резюме. Проведено біотестування водопровідної води, обробленої сірим та чорним кременем за допомогою рослинних тест-організмів: ріпчастої цибулі (*Allium cepa*) і зерен пшениці (*Triticum vulgare*). Показано, що активована кременем вода стимулює метаболічні процеси при пророщуванні ріпчастої цибулі і зерен пшениці. Більший розвиток кореневої системи у тестових рослинних організмів, які контактували з кременем-

вою водою, вказує на підвищення токсикорезистентності рослин на початкових етапах розвитку (стартовий ефект). Отримані дані тестування свідчать про високу біологічну активність кременю у водному середовищі, яка направлена на стимуляцію росту і розвитку, а також на підвищення стійкості до токсичних впливів рослинних організмів.

V.V. Goncharuk, R.D. Chebotareva, V.F. Kovalenko, E.A. Pasichna

ASSESSMENT OF QUALITY OF PROCESSED SILICON WATERS BY PLANT TEST ORGANISMS

Summary

A bioassay of tap water, treated gray and black cherty using plant test organisms: onion (*Allium cepa*) and wheat (*Triticum vulgare*). Shown that activated flint water stimulates the metabolic processes during germination of onions and wheat. More developed root system in the test plant organisms indicates increasing toxic effect of plants in the early stages of development (start-up effect). The obtained test data indicate a high biological activity of silicon in the aquatic environment, aimed at stimulating growth and development, as well as increased resistance to toxic effects in plant organisms.

1. *Ходоровская Н.И., Стурова М.В.* // Вести Челябин. науч. центра. – 2009. – Вып. 2, №15. – С. 50 – 53.
2. *Rondeau V., Jacqmin -Gadda H., Commenges D., Helmer C., Dartigues J.F.* // Amer. J. Epidemiol. – 2009. – **169**, N 4. – P. 489 – 496.
3. *Merget R., Bauer T., Kupper H., Philippou S., Bauer H., Breitstadt R., Bruening T.* // Arch. Toxicol. – 2002. – **75**. – P. 62534.
4. *Gold S.A., Burrows V. A.* // Electrochem. Solid-State Lett. – 2004. – **7**, N 12. – P. G295 – G298.
5. *Szyja B., Jansen A., Verstraelen T., Santen R.* // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2009. – **11**. – P. 7605 – 7610.
6. *Zang D., Stocco A., Langevin. D., Wei B., Bernard P.* // Ibid. – 2009. – **11**. – P. 9522 – 9529.
7. *Cole D. J., Payne M.C., Ciacchi L.C.* // Ibid. – 2009. – **11**. – P. 11395 – 11399.
8. *Takeshi M., Kazuyuki Y., Muneaki T., Kazuhiko Y.* // J. Colloid and Interface Sci. – 2005. – **283**, N 2. – P. 300 – 310.
9. *Zhou M., Zhang L., Lu H.L., Chen S. M.* // J. Mol. Struct. – 2002. – **605** – N 2/3. – P. 249 – 254.
10. *Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я.* Кремний и жизнь (Биохимия, токсикология и фармакология соединений кремния). – Рига: Зинатне, 1971. – 327 с.

11. *Perry C.C., Keeling-Tucker T.* // J. Inorganic. Biochem. – 1998. – **69**, N 3. – P. 181 – 191.
12. *May J.F., Miyake Y., Takahashi E.* // Studies in Plant Sci. – 2001. – **8**. – P. 17 – 39.
13. *Ma J. F., Yamaji N.* // Trends in Plant Sci. – 2006. – **11**, N 8. – P. 392 – 397.
14. *Шевелуха В.С., Ковалев В.М., Груздев Л.Т., Блиновский И.К.* // Вестн. с.-х. науки. – 1985. – № 9. – С.57 – 65.
15. *Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология: В 3-х т. – М.: Мир, 1990. – Т. 3. – 375 с.
16. *Fiskesjo G.* // Hereditas. – 1985. – N 102. – P. 99 – 112.
17. *Fiskesjo G.* // Mutet. Res. – 1988. – N 197. – P. 243 – 260.
18. *Чайка М.Т., Савченко Г.Е.* Биосинтез хлорофилла в процессе развития пластид. – Минск: Наука и техника, 1981. – 168 с.
19. *Кононков П.Ф., Губкин В.Н.* Повышение полевой всхожести семян овощных культур. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 185 с.

Ин-т коллоид. химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины,
г. Киев

Поступила 13.05.2011