

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.814-821>
УДК 635.925:581.143.6



Влияние оксида кремния (SiO_2) на адаптацию микрорастений роз (Rose L.) сорта Reine Sammut

© 2022. Т. Г. Леконцева ✉, А. В. Федоров

ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Исследования посвящены оптимизации методики адаптации микрорастений роз сорта Reine Sammut с применением оксида кремния (SiO_2) путем опрыскивания и полива. Для проведения опыта применяли стандартные микрорастения, полученные методом клонального микроразмножения, соответствующие ГОСТ 29105.1-91-29105.3-91. Перед высадкой на адаптацию микрорастения были очищены от нижних листьев, корни промыты от агаризованной питательной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия и подрезаны до 15-20 мм. Адаптация проводилась в микропарниках на торфяном питательном субстрате, изготовленном согласно ТУ 20.12.80-001-41790563-2020, в условиях светоконнаты (влажность 36 %, температура 23...25 °C, продолжительность светопериода 16 часов, освещенность 8000 Лк). С целью обеззараживания субстрата был использован биофунгицид «Триходерма вериде» (1,5 мл/л). Микрорастения после высадки на адаптацию пролиты и опрысканы в соответствии с вариантами опыта: 1) дистиллированная вода (контроль); 2) 0,01%-ный раствор SiO_2 ; 3) 0,005%-ный раствор SiO_2 ; 4) 0,0025%-ный раствор SiO_2 . При продолжительном проветривании микропарников у 28 % растений контрольного варианта было отмечено подсыхание листьев, которое отсутствовало при применении растворов оксида кремния. По визуальной диагностике самый привлекательный вид растений отмечен при поливе и опрыскивании 0,01%-ным оксидом кремния. Данная концентрация оксида кремния при адаптации растений, по сравнению с контролем, способствовала существенному увеличению высоты растений и длины побега на 50,0 и 42,6 мм соответственно ($\text{НСР}_{05} = 36,1$ и 28,3) и тенденции увеличения количества листьев на 1,6 шт., массы побега в 2,0 и корней в 1,8 раза.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, микрорастение, адаптация, морфометрические параметры, надземная часть, корневая система

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (регистрационный № НИОКТР 1021032422389-7-1.6.20).

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН – главному научному сотруднику, доктору физико-математических наук Светлане Федоровне Ломаевой и старшему научному сотруднику, кандидату физико-математических наук Анатолию Анатольевичу Шакову – за предоставленный для исследований оксид кремния.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леконцева Т. Г., Федоров А. В. Влияние оксида кремния (SiO_2) на адаптацию и микрорастений роз (Rose L.) сорта Reine Sammut. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):814-821.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.814-821>

Поступила: 14.09.2022

Принята к публикации: 23.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Influence of silicon oxide (SiO_2) on the adaptation of microplants of roses (Rose L.) cv. Reine Sammut

© 2022. Tatyana G. Lekontseva ✉, Alexander V. Fedorov

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

The research is devoted to the optimization of the method of adaptation of Reine Sammut microplants of roses using silicon oxide (SiO_2) by spraying and watering. For the experiment, there have been used standard microplants obtained by the method of clonal micropropagation, corresponding to GOST 29105.1-91-29105.3-91. Before planting for adaptation, the microplants were cleared from the lower leaves, the roots were washed from the agar nutrient medium in a decimolar solution of potassium permanganate and trimmed to 15-20 mm. Adaptation was carried out in micro-greenhouses on a peat nutrient substrate, made in accordance with TU 20.12.80 001 41790563 2020, in a light room (humidity 36 %, temperature 23...25 °C, light period duration 16 hours, illumination 8000 Lx). In order to disinfect the substrate, the biofungicide "Trichoderma veride" (1.5 ml/l) was used. Microplants after planting for adaptation were shed and sprinkled in accordance with the experiment options: 1) distilled water (control); 2) 0.01% SiO_2 solution; 3) 0.005% SiO_2 solution; 4) 0.0025% SiO_2 solution. With prolonged ventilation of micro-greenhouses, 28 % of plants in the control variant showed drying of the leaves, which did not occur when using silicon oxide solutions. According to visual diagnostics, the most attractive plant species was when watered and sprayed with 0.01% silica. This concentration of silicon oxide during plant adaptation compared to the control

contributed to a significant increase in plant height and shoot length by 50.0 mm and 42.6 mm, respectively ($LSD_{05} = 36.1$ and 28.3), and a tendency to increase the number of leaves by 1.6 pcs., shoot weight 2.0 and roots 1.8 times.

Keywords: clonal micropropagation, microplant, adaptation, morphometric parameters, aerial part, root system

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 1021032422389-7-1.6.20).

The authors express their gratitude to the staff of the Department of Physics and Chemistry of Nanomaterials of the Physical-Technical Institute of the UdmFRC, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, DSc in Physical and Mathematical Sciences Lomaeva Svetlana Fedorovna and senior researcher, PhD in Physical and Mathematical Sciences Anatoly Anatolyevich Shakov for providing silicon oxide for research.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Lekontseva T. G., Fedorov A. V. Influence of silicon oxide (SiO_2) on the adaptation of microplants of roses (*Rose* L.) cv. Reine Sammut. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):814-821. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.814-821>

Received: 14.09.2022

Accepted for publication: 23.11.2022

Published online: 16.12.2022

В современных условиях развития питомниководства все большее внимание уделяется наукоемкому способу вегетативного размножения растений – методу клонального микроразмножения. Микроразмножение проводят в стерильных условиях (*in vitro*) на специальных питательных средах со стимуляторами роста для получения и ускоренного размножения безвирусного посадочного материала¹. Метод клонального микроразмножения по сравнению с традиционными имеет множество преимуществ: высокий коэффициент размножения; производство микрорастений в течение всего года на сравнительно небольших лабораторных площадях; возможность планирования выхода посадочного материала к определенному сроку; низкая себестоимость при условии отработанной методики *in vitro* и т. д.

Во всем мире выращивается около 500 млн микрорастений в год, из них 350 млн шт. – декоративные [1].

Методика клонального микроразмножения состоит из четырех этапов: введение в стерильную культуру; собственно размножение; укоренение; адаптация микрорастений к нестерильным условиям окружающей среды.

Растения, выращенные в культуре *in vitro*, имеют ряд анатомических и физиологических особенностей, которые следует учитывать в технологии проведения операций. Для них характерны более мелкие и тонкие листья, слабо развитая кутикула, нарушенная работа устьиц, закрытая проводящая система из элементов ксилемы, тип питания чаще миксо- или гетеротрофный².

Процесс адаптации пробирочных растений к почвенным условиям является наиболее

важной, дорогостоящей и трудоемкой операцией. В конечном итоге от этого зависит результативность применения способа клонального микроразмножения. Нередко после пересадки микрорастений в почву наблюдается остановка в росте, опадение листьев и их гибель. Это связано, в первую очередь, с тем, что у пробирочных растений нарушена деятельность устьичного аппарата, вследствие чего происходит потеря большого количества воды. Во-вторых, у некоторых растений в условиях *in vitro* не происходит образования корневых волосков, что приводит, в свою очередь, к нарушению поглощения воды и минеральных солей из почвы. К факторам, влияющим на жизнеспособность микрорастений в период адаптации, относятся тип субстрата, влажность воздуха, инфекционная нагрузка, дисбаланс между листовым аппаратом и корневой системой [2].

С целью повышения эффективности адаптации применяется опрыскивание микрорастений различными регуляторами роста, в том числе содержащими кремний. Совместное применение «НВ-101» и «Рибав-Экстра» достоверно повышало приживаемость, выход адаптированных растений жимолости, улучшило показатели их роста и развития [2, 3]. Положительные результаты получены при использовании микроудобрения «Силиплант» при адаптации микрорастений жимолости синей [4, 5]. Согласно нашим исследованиям, некорневое применение «Силипланта» также способствовало повышению выхода адаптированных микрорастений розы сорта Анжелика по сравнению с контролем (вода) [6].

¹Дорошенко Т. Н. Биологические основы размножения плодовых растений. Краснодар: КубГАУ, 2015. 136 с.

²Князьков И. Е., Сахно О. Н. Клеточная инженерия растений: учебное пособие. Владимир: Аркаим, 2016. 84 с.

Кремний по распространенности на Земле является вторым элементом после кислорода. Содержание кремния в глинистых почвах достигает 35 %, в песчаных – 49 % [7]. Являясь макроэлементом зольного типа, кремний и его соединения входят в группу неотъемлемых компонентов любого растительного организма. Его содержание в золе культурных растений колеблется в среднем от 0,16 до 8,4 %. Наибольшее количество Si содержится в злаковых культурах, достигая 8-16 %, а в растениях риса – до 15-20 % SiO₂ [8].

Водорастворимые формы кремния широко применяются в сельском хозяйстве как за рубежом, так и в нашей стране. Это связано с их высокой доступностью для растений, удобством применения и низкой ценой. Они также менее токсичны для теплокровных и не летучи. Их можно использовать как для обработки семенного материала [9, 10], так и для некорневых подкормок в период вегетации [11, 12].

Почти все растения (за редким исключением) могут быть выращены без кремния в питательной среде, даже кремнефильные растения – рис и пшеница. Несмотря на меньшую в целом способность накапливать кремний у двудольных, его роль в жизнедеятельности и повышении устойчивости к стрессам у этих культур не менее велика. Кремний выполняет множество функций в растительном организме: улучшает рост, развитие, способствует улучшению качества продукции и повышению урожайности³. Одна из важных функций кремния в растении – формирование и поддержка природной защиты от внешних неблагоприятных био- и абиотических факторов: загрязнения, болезней, насекомых-вредителей, заморозков, нехватки воды и питательных элементов и т. д. [13, 14, 15]. Выявлена устойчивость растений кукурузы к пятнистости листьев *macrospora*, вызываемой грибом *Stenocarpella macrospora*, которые получали кремний при поливе [16]. В почве силикат натрия увеличивал численность бактериальных сообществ, уменьшал количество и разнообразие грибов, снижал заболеваемость рассады огурцов фузариозным увяданием, улучшал ее

рост и повышал активность ферментов в корнях [17]. Согласно обзорной статье П. Каушик, Д. Саини (P. Kaushik, D. Saini) [18], включающей 149 источников, кремний способствует защите множества видов растений от неблагоприятных факторов: биотических (грибковые и бактериальные патогены, насекомые и нематоды); абиотических (засоление, засуха и другие стресс-факторы); токсичность металлов. Также отмечен положительный эффект кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур [19].

По общепринятой методике после высадки микрорастений на адаптацию необходимо поддерживать высокую влажность воздуха, так как велика вероятность их гибели вследствие транспирации. Для поддержания высокой влажности используют мелкодисперсное опрыскивание водой или туманообразующую установку. На этапе адаптации микрорастений важно оценить возможность применения стимуляторов роста, доступных и эффективных, которые бы повышали приживаемость, способствовали росту и развитию растений *ex vitro*. Важным моментом является наличие гетеротрофного питания у микрорастений в культуре *in vitro*. Применение кремнийсодержащих стимуляторов роста, как было отмечено выше, однозначно обладает положительным стимулирующим эффектом. Однако по составу это сложные многокомпонентные стимуляторы, в то время как в растворе оксида кремния основным действующим элементом является кремний. Его можно применять традиционно при поливе и путем опрыскивания. Некорневое использование обладает более быстрым эффектом. Кремний усваивается корневой системой (до 5 %) и максимально, до 30-40 %, усваивается листовой поверхностью⁴.

Цель исследований – оптимизация методики адаптации микрорастений роз с применением оксида кремния.

Новизна исследований. Показана эффективность применения в методике адаптации микрорастений роз 0,01%-го раствора оксида кремния путем полива и опрыскивания.

³Крамарев С. М., Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrosil.ru/novoe-pokolenie-biologicheskii-aktivnyx-regulyatorov-rosta/> (дата обращения: 06.06.2022).

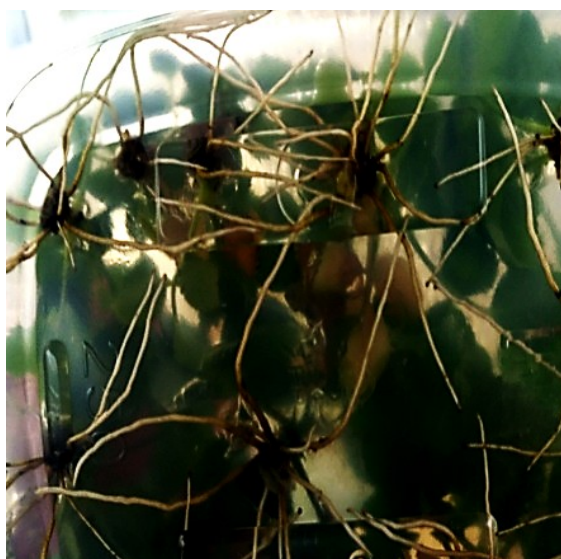
⁴Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с. URL: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01004402860.pdf>

Материал и методы. Объектом исследования служили микрорастения розы сорта Reine Sammut, полученные методом клонального микроразмножения. Выбранный сорт относится к шрамам ремонтантного цветения, характеризуется высокой декоративностью и зимостойкостью, низкой поражаемостью болезнями и вредителями, его можно рекомендовать как высокоперспективный для озеленения городской среды. Для проведения опыта применяли стандартные микрорастения, соответствующие ГОСТ 29105.3-91⁵. Длина основного побега более 2 см, количество листьев и корней более 4 и 5 шт. соответственно.

Адаптация проводилась в микропарниках на торфяном питательном субстрате, изготовленном ООО «Русская торфяная компания» согласно ТУ 20.12.80-001-41790563-2020,

следующего состава: азота ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) – 120 мг/л; фосфора (P_2O_5) – 130; калия (K_2O) – 220 мг/л; pH солевой суспензии 5,5. Субстрат перед посадкой пролили раствором «Триходерма вериде» в дозе 1,5 мл/л. Микрорастения были очищены от нижних листьев, корни промыты от агаризованной питательной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия [6].

При подготовке микрорастений для высадки на адаптацию было проведено укорачивание корней до 15-20 мм. Длинные корни при высадке в грунт загибаются, что не способствует повышению эффективности адаптации. Обрезка корней перед высадкой на адаптацию стимулирует развитие боковых корней. На рисунке 1, б приведен внешний вид разросшихся корней после обрезки одного корня.



а / а



б / б

Рис. 1. Внешний вид корней микрорастений роз в культуре *in vitro* (а) и разросшегося в почвогрунте одного корня через 28 суток после обрезки (б) /

Fig. 1. Appearance of the roots of rose microplants in *in vitro* culture (а) and one root that has grown in the soil 28 days after pruning (б)

После посадки в субстрат микрорастения проливали в дозе 1,5-2,0 мл/растение и опрыскивали до полного смачивания листьев водой (контроль) и растворами оксида кремния разных концентраций (согласно вариантам опыта).

Схема опыта: 1) дистиллированная вода (контроль); 2) 0,01%-ный раствор SiO_2 ; 3) 0,005%-ный раствор SiO_2 ; 4) 0,0025%-ный раствор SiO_2 .

Оксид кремния для исследований был предоставлен сотрудниками отдела физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН.

Для поддержания влажности крышки микропарников ежедневно опрыскивали водой. В микропарники высаживали по 60 шт. микрорастений. Один микропарник – один вариант опыта. Опыт был заложен 25.02.2022 г., морфометрические данные сняты 25.03.2022 г.

Адаптацию проводили в условиях световой комнаты при температуре 23...25 °С, продолжительность светопериода – 16 часов, влажность – 36 %, освещенность – около 8000 Лк.

⁵ГОСТ 29105.3-91. Микрочеренки укорененные адаптированные. Технические условия. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 7 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/10346/>

Исследовали следующие параметры: успешность адаптации (%); длина побега и растения в целом (мм); количество развившихся листьев (шт.); масса надземной части и корней (г); количество (шт.) и длина корней (мм).



Рис. 2. Внешний вид адаптированных растений роз сорта Reine Sammut через 28 суток после высадки на адаптацию: 1 – вода (контроль); 2 – 0,01%-ный раствор SiO_2 ; 3 – 0,0025%-ный раствор SiO_2 ; 4 – 0,005%-ный раствор SiO_2 /

Fig. 2. Appearance of adapted Reine Sammut rose plants 28 days after planting for adaptation: 1 – water (control); 2 – 0.01% SiO_2 solution; 3 – 0.0025% SiO_2 solution; 4 – 0.005% solution of SiO_2

Успешность адаптации микрорастений роз во всех вариантах опыта составила 100 %. По визуальной диагностике самый привлекательный вид растений отмечен при поливе и опрыскивании 0,01%-ным раствором оксида кремния. По сравнению с другими вариантами опыта растения были выше, имели плотный крепкий и более толстый стебель с кожистыми блестящими листьями.

В контроле (вода) и при применении меньших концентраций растворов оксида кремния (0,0025%-ного и 0,005%-ного) растения имели меньший габитус.

Согласно методике адаптации микро-растений, на первоначальном этапе высокую влажность в микропарниках поддерживали регулярным опрыскиванием крышек водой. В дальнейшем влажность уменьшали, растения постепенно приучали к условиям светокomнаты. По истечении 18 суток после выведения микро-растений роз на адаптацию крышки с микропарников удаляли на полтора часа. Отметим, в условиях светокomнаты влажность была 36 %. В контроле (полив и опрыскивание водой) у 28 % растений края нежных вегетирующих листьев свернулись вверх, частично засохли (рис. 2 (1)). В других вариантах опыта с применением оксида кремния растения не

Статистическая обработка данных проведена дисперсионным методом по Б. А. Доспехову⁶.

Результаты и их обсуждение. Внешний вид микропарников с адаптированными растениями приведен на рисунке 2.

пострадали. Согласно многочисленным исследованиям [13, 14, 15], кремний является анти-стрессовым элементом, способствующим повышению природной защиты растений к неблагоприятным условиям окружающей среды, в частности защите молодых листьев от подсыхания при низкой влажности воздуха адаптационной комнаты.

Полив и опрыскивание адаптируемых растений 0,01%-ным раствором оксида кремния по сравнению с контролем способствовали существенному увеличению высоты растений и длины побега соответственно на 50,0 и 42,6 мм ($\text{HCP}_{05} = 36,1$ и 28,3, табл. 1).

При более низких концентрациях оксида кремния данные параметры были лучше по сравнению с контролем, однако различия были несущественными.

Количество развившихся листьев при применении 0,01%-ного раствора оксида кремния, по сравнению с контролем, было больше на 1,6 шт., масса побега увеличилась в 2 раза. Корневая система адаптированных растений в вариантах с применением растворов оксида кремния в 0,01- и 0,005-процентных концентрациях имела тенденцию лучшего развития (табл. 2, рис. 3).

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

URL: https://www.studmed.ru/view/dosphehov-ba-metodika-polevogo-opyta_9733259bddd.html

Таблица 1 – Морфометрические параметры надземной части адаптированных растений роз сорта Reine Sammut /

Table 1 – Morphometric parameters of the aerial parts of adapted rose plants of the Reine Sammut variety

Вариант / Variant	Высота растений, мм / Plant height, mm	Длина побега, мм / Shoot length, mm	Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs.	Масса побега, г / Shoot mass, g
Вода (к) / Water (c)	71,0	41,4	8,8	0,3
Концентрация SiO ₂ , % / Concentration SiO ₂ , %				
0,01	121,0	84,0	10,4	0,6
0,005	85,2	62,0	8,4	0,5
0,0025	73,8	46,6	7,4	0,4
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	36,1	28,3	F _{факт.} < F ₀₅ / F _{факт.} < F ₀₅	

Таблица 2 – Морфометрические параметры корневой системы адаптированных растений роз сорта Reine Sammut /

Table 2 - Morphometric parameters of the root system of adapted rose plants of the variety Reine Sammut

Вариант / Variant	Масса корней, г / Mass of roots, g	Количество корней, шт. / Number of roots, pcs.	Средняя длина корня, мм / Average root length, mm
Вода (контроль) / Water (control)	0,133	9,6	59,0
Концентрация SiO ₂ , % / Concentration SiO ₂ , %			
0,01	0,236	10,0	57,9
0,005	0,204	10,4	59,2
0,0025	0,110	9,0	52,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	F _{факт.} < F ₀₅ / F _{факт.} < F ₀₅		

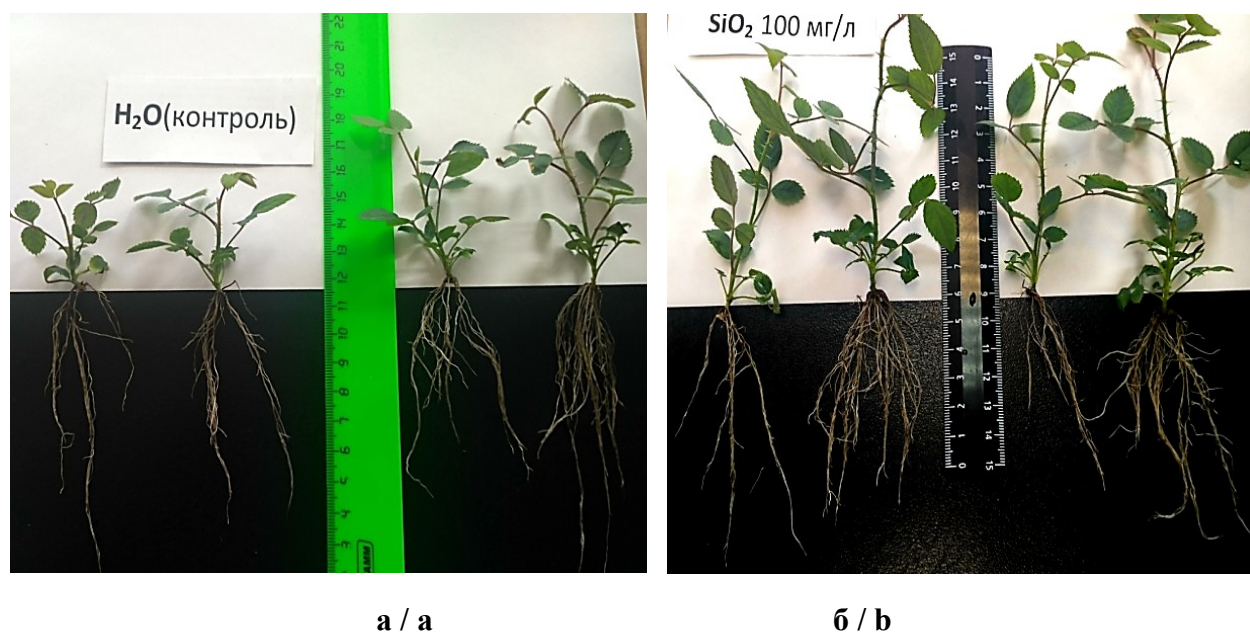


Рис. 3. Внешний вид адаптированных микрорастений роз сорта Reine Sammut через 28 суток после выведения на адаптацию: а) полив и опрыскивание водой (контроль); б) полив и опрыскивание 0,01%-ным раствором SiO₂ /

Fig. 3. Appearance of adapted microplants of Reine Sammut roses 28 days after introduction for adaptation, a) watering and spraying with water (control); b) watering and spraying with 0.01% SiO₂ solution

Применение 0,01%-го раствора оксида кремния, по сравнению с контролем, оказало лучшее стимулирующее действие на развитие корневой системы микрорастений, в частности масса корней увеличилась в 1,8 раза.

Кремний является одним из главных элементов, входящих в минеральный состав коронарных клеток корневого чехлика и выделяемых корневыми волосками слизей. Вследствие этого оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению биомассы корней, их объема, общей и рабочей адсорбирующей поверхности [15].

Заключение. Таким образом, полив и опрыскивание 0,01%-ным раствором оксида кремния, по сравнению с контролем (дистиллированная вода), способствовали существенному увеличению высоты растений и длины побега, лучшей облиственности и повышению массы надземной части и корней в 2,0 и 1,8 раза соответственно. Использование оксида кремния при адаптации микрорастений на примере роз сорта Reine Sammut является перспективным: способствовало увеличению габитуса растений, повышало устойчивость листового аппарата к пониженной влажности адаптационной комнаты.

Список литературы

1. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Федоров А. Д., Слинько О. В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 88 с. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/download/5-rastenievodstvo/1358-analiz-sostoyaniya-i-perspektivnye-napravleniya-razvitiya-pitomnikovodstva-i-sadovodstva-2019>
2. Несмелова Н. П., Сомова Е. Н. Влияние состава субстрата и внекорневых обработок регуляторами роста на выход адаптированных растений жимолости синей. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2015;(3(36)):25-31. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24214885>
3. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Получение стандартного посадочного материала жимолости синей с использованием биотехнологических методов. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018;(1(46)):43-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32723610>
4. Высоцкий В. А., Валиков В. А. Клональное микроразмножение жимолости в производственных условиях. Садоводство и виноградарство. 2014;(6):18-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22762511>
5. Семенова Н. А., Акимов С. В., Аладина О. Н. Влияние препарата силиплант на рост и развитие ex vitro растений жимолости съедобной на этапах адаптации и доращивания. Плодоводство и ягодоводство России. 2015;41:325-329. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23589203>
6. Леконцева Т. Г., Худякова А. В., Исаева А. Н., Федоров А. В. Оптимизация некоторых этапов микроразмножения чайно-гибридной розы сорта Анжелика. Вестник Пермского университета. Серия биология. 2017;(3):240-244. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
7. Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах. Агрохимия. 2019;(1):86-96. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010071>
8. Козлов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах. Вестник Мининского университета. 2015;(2(10)):23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23526053>
9. Ложникова В. Н., Сластьян И. В. Рост растений ярового ячменя и активность эндогенных фитогормонов под действием кремния. Сельскохозяйственная биология. 2010;45(3):102-107.
10. Смывалов В. С., Захарова Д. А. Влияние кремнийсодержащих материалов на урожайность и качество продукции яровой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4(36)):55-59. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632776>
11. Зейслер Н. А. Влияние силатранов на прорастание семян хлебных злаков. Интеллектуальный потенциал XXI: ступени познания. 2016;(31):6-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25501734>
12. Немцова А. В., Харин А. В., Разлуга И. А., Выхорь Т. П. Влияние аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, морфометрические и физиологические показатели овощных культур. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019;21(2):95-100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39188901>
13. Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений. Земледелие. 2020;(4):40-46. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10411>
14. Матыченков В., Бочарникова Е., Ходырев В. Кремний питает растения. Наука и жизнь. 2015;(8):28-31. Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/26738/>
15. Козлов А. В., Уромова И. П., Фролов Е. А., Мозолева К. Ю. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов. Международный студенческий научный вестник. 2015;(1):39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23215679>
16. Hawerth C., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot. Tropical Plant Pathology. 2018;44:192-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0247-8>
17. Zhou X., Shen Y., Fu X., Wu F. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities. Frontiers in Plant Science. 2018;9:624. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00624>
18. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator – A Review. Plants. 2019;8(6):148. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
19. Куликова А. Х., Козлов А. В., Смывалов В. С. Влияние кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур в условиях Среднего Поволжья. Агрохимия. 2019;(4):60-69. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040082>

References

1. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Kondratieva O. V., Fedorov A. D., Slinko O. V. Analysis of the state and perspective directions of development of nursery and horticulture: scientific. analyte. review. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. 88 p. URL: <https://rosinformagrotekh.ru/data/download/5-rastenievodstvo/1358-analiz-sostoyaniya-i-perspektivnye-napravleniya-razvitiya-pitomnikovodstva-i-sadovodstva-2019>
2. Nesmelova N. P., Somova E. N. Influence of growing medium composition and leaf fertilizing with growth regulators on adaptive sweet-berry honeysuckle yield. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2015;(3(36)):25-31. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24214885>
3. Markova M. G., Somova E. N. Standard planting stock of sweet-berry honeysuckle applying biotechnological methods. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2018;1(46):43-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32723610>
4. Vysotskiy V. A., Valikov V. A. Clonal micropropagation of honey suckle for commercial purposes. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2014;(6):18-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22762511>
5. Semenova N. A., Akimova S. V., Aladina O. N. Siliplant influence on ex vitro honeysuckle growth and development on adaptation stage and following growing. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2015;41:325-329. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23589203>
6. Lekontseva T. G., Khudyakova A. V., Isaeva A. N., Fedorov A. V. Optimization of some stages of microclonal propagation of a tea-hybrid rose of angelic sort. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya biologiya* = Bulletin of Perm University. Biology. 2017;(3):240-244. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
7. Samsonova N. E. Silicon in soils, plant and animal organisms. *Agrokimiya*. 2019;(1):86-96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010071>
8. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh., Yashin E. A. Role and value of silicon and siliceous substances in agroecosystems. *Vestnik Mininskogo universiteta* = Vestnik of Minin University. 2015;(2(10)):23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23526053>
9. Lozhnikova V. N., Slasya I. V. The growth of spring barley plants and the activity of endogenous phytohormones under the action of silicon. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2010;45(3):102-107. (In Russ.).
10. Smyvalov V. S., Zakharova D. A. Influence of silicon-containing materials on yield and product quality of spring wheat. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2016;(4(36)):55-59. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632776>
11. Zeysler N. A. The effect of silatrans on the germination of grain seeds. *Intellektual'nyy potentsial XXI: stupeni poznaniya*. 2016;(31):6-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25501734>
12. Nemtsova A. V., Kharin A. V., Razlugo I. A., Vykhor' T. P. The influence of amorphous silicon dioxide "Kovelos" on yield and growth characteristics of some crops. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019;21(2):95-100. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39188901>
13. Bezruchko E. V. Silicon is an underestimated plant nutrient. *Zemledelie*. 2020;(4):40-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10411>
14. Matychenkov V., Bocharnikova E., Khodyrev V. Silicon nourishes plants. *Nauka i zhizn'*. 2015;(8):28-31. (In Russ.). URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/26738/>
15. Kozlov A. V., Uromova I. P., Frolov E. A., Mozoleva K. Yu. Physiological value of silicon in ontogenesis of cultural plants and at their protection against phytopathogens. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2015;(1):39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23215679>
16. Hawerth C., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot. *Tropical Plant Pathology*. 2018;44:192-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0247-8>
17. Zhou X., Shen Y., Fu X., Wu F. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:624. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00624>
18. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator – A Review. *Plants*. 2019;8(6):148. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
19. Kulikova A. Kh., Kozlov A. V., Smyvalov V. S. Influence of silicon-containing materials on soil properties, crop condition and yield of grain crops in the conditions of middle Volga region. *Agro-khimiya*. 2019;(4):60-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040082>

Сведения об авторах

✉ Леконтцева Татьяна Германовна, научный сотрудник, отдел интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>, e-mail: t.lekontseva@udman.ru

Федоров Александр Владимирович, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, отдел интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

Information about authors

✉ Tatyana G. Lekontseva, researcher, Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS, 34, T. Baramzina St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>, e-mail: t.lekontseva@udman.ru

Alexander V. Fedorov, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS, 34, T. Baramzina St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

✉ – Для контактов / Corresponding author