

Е. В. Немцова, А. В. Харин, И. А. Разлуго

ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ «КОВЕЛОС-СОРБ» НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА *RHODODENDRON ROSEUM* (LOISEL.) REHDER В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Ye. V. Nemtsova, A. V. Harin, I. A. Razlugo

THE INFLUENCE OF SILICON DIOXIDE KOVELO-SORB ON GROWTH CHARACTERISTICS OF *RHODODENDRON ROSEUM* (LOISEL.) REHDER CULTIVATED *IN VITRO*

Аннотация. В настоящей работе описано стимулирующее действие синтетического аморфного диоксида кремния на параметры роста мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder, размножаемого в культуре *in vitro*. Целью работы являлось определение оптимального состава питательных сред на основе аморфного кремнезема «Ковелос-Сорб», используемых для клонального микропомножения рододендронов. Установлено, что оптимальным для стимуляции роста побегов мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder являлось добавление в питательную среду Андерсона 100 мг/л аморфного диоксида кремния. Для стимуляции размножения и получения большого количества посадочного материала оптимальным являлось использование среды Андерсона, содержащей 50 мг/л аморфного кремнезема. Для укоренения растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder в культуре *in vitro* оптимальным являлось использование среды Андерсона, содержащей синтетический аморфный диоксид кремния в количестве 50–150 мг/л в сочетании с ИУК в количестве 1,5 мг/л.

Ключевые слова: *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder; аморфный диоксид кремния «Ковелос-Сорб»; клональное микропомножение.

Сведения об авторах: Немцова Елена Валентиновна, ORCID: 0000-0002-6518-7799, канд. биол. наук, Брянский государственный университет им. ак. И. Г. Петровского, г. Брянск, Россия, elenanemz@mail.ru; Харин Андрей Викторович, ORCID: 0000-0002-2515-9996, SPIN-код: 2705-8104, канд. биол. наук, Брянский государственный университет им. ак. И. Г. Петровского, г. Брянск, Россия; Разлуго Ирина Алексеевна, ORCID: 0000-0001-7587-777X, Брянский государственный университет им. ак. И. Г. Петровского, г. Брянск, Россия.

About the authors: Nemtsova Elena Valentinovna, ORCID: 0000-0002-6518-7799, Ph.D., Bryansk State University named after Acad. I. G. Petrovsky, Bryansk, Russia, elenanemz@mail.ru; Harin Andrey Viktorovich, ORCID: 0000-0002-2515-9996, SPIN-code: 2705-8104, Ph.D., Bryansk State University named after Acad. I. G. Petrovsky, Bryansk, Russia; Razlugo Irina Alekseevna, ORCID: 0000-0001-7587-777X, Bryansk State University named after Acad. I. G. Petrovsky, Bryansk, Russia.

Введение

Применение соединений кремния при культивировании растений *in vitro* представляет перспективу для производства оздоровленного посадочного материала, легко адаптирующегося к неблагоприятным условиям среды. Известно, что соединения кремния, в том числе диоксид кремния, осуществляют огромное количество функций в жизни растений, как в обычных, так и в стрессовых условиях. Роль аморфного диоксида кремния можно сравнить с ролью вторичных органических метаболитов, выполняющих в растениях защитные функции [4].

Добавление аморфного диоксида кремния в питательную среду при культивировании *in vitro* стимулирует органогенез, эмбриогенез, влияет на ростовые процессы, морфологические, анатомо-физиологические характеристики, повышает толерантность к низкой температуре и солености, защищает клетки от токсичности металлов, предотвращает окислительное фенольное потемнение и снижает

частоту гипергидрации у различных растений [9]. Аморфный диоксид кремния обладает значительным потенциалом для применения в широком спектре исследований культуры тканей растений, таких как криоконсервация, органогенез, микропропагация, соматический эмбриогенез и производство вторичных метаболитов.

В ходе экспериментов с аморфным диоксидом кремния в культуре *in vitro* было выявлено, что он увеличивает устойчивость каллуса винограда к низким температурам [6]. Это показывает, что аморфный диоксид кремния может быть использован в качестве криопротектора и включен в криопротекторную смесь для минимизации токсичности других криопротекторов.

Добавление диоксида кремния в питательную среду приводит к замедлению роста болезнетворных микроорганизмов и увеличивает регенеративный потенциал мериклонов пасленовых, культивируемых *in vitro* [8].

Установлено, что аморфный диоксид кремния в культуре *in vitro* уменьшает солевой стресс у некоторых видов растений, ограничивая поглощение хлорида натрия, а также поддерживает ультраструктуру устьиц, улучшает фотосинтетическую активность, уменьшает содержание свободного пролина и активизирует синтез антиоксидантных ферментов [7].

Известно, что использование аморфного диоксида кремния в культуре *in vitro* повышает засухоустойчивость, снижает токсичность свинца, алюминия и других металлов, повышает устойчивость к радиационным и температурным стрессам [3].

Изучены оптимальные количества аморфного кремнезема, стимулирующие рост мериклонов *in vitro*. Добавление аморфного кремнезема в питательную среду в количестве 100 мг/л приводило к увеличению некоторых параметров роста мериклонов яблони (длина побега, коэффициент размножения, масса сухого вещества), повышало содержание хлорофилла [2]. Использование аморфного кремнезема в составе питательной среды Мурасиге-Скуга количеством 100 мг/л (1,66 мМ в пересчете на метакремниевую кислоту) приводило к увеличению коэффициента размножения бананов на 50%. Адаптация таких мериклонов проходила эффективнее при добавлении в питательный субстрат аморфного кремнезема в количестве 2 г/кг, – растения характеризовались большей устойчивостью к недостатку влаги и фузариозу [5].

Целью данной работы являлось определение оптимального состава питательных сред на основе аморфного кремнезема «Ковелос-Сорб», используемых для клонального микроразмножения рододендронов (на примере *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder).

Научная новизна настоящего исследования заключается в определении количества аморфного диоксида кремния, обладающего стимулирующим влиянием на рост корней и побегов растений регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder в культуре *in vitro*.

Разработанная методика использования аморфного диоксида кремния для размножения рододендронов в культуре *in vitro* может применяться для создания протоколов клонального микроразмножения других сельскохозяйственных культур. Результаты исследования могут быть использованы для создания технологии применения аморфного диоксида кремния в качестве регулятора роста растений.

Методика и материалы исследования

Изучали влияние аморфного диоксида кремния на морфометрические показатели, коэффициент размножения и укореняемость растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder (гибридный сорт, белоцветковая форма), размножаемых в культуре *in vitro* с использованием питательной среды Андерсона для размножения и укоренения [1]. В состав среды вводили синтетический аморфный диоксид кремния «Ковелос-Сорб» в количестве 50, 100 и 150 мг/л (производство ООО «Экокремний»). В состав среды для укоренения включали 1,5 мг/л ИУК (индолилуксусная кислота).

Побеги рододендронов, размножаемых микроклонально, отделяли от первичного эксплантата, делили на 2–3-х пазушные черенки и переносили на питательную среду согласно схеме опыта. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности, на каждый вариант опыта приходилось по 30–40 микропобегов.

Культивирование микропобегов осуществляли при 25°C под лампами дневного света при 16-часовом фотопериоде. Длительность субкультивирования составляла 8 недель. Определяли длину побегов и корней, число корней и коэффициент размножения. Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием программы Microsoft Excel 2017; отличия достоверны при $p \leq 0,05$. Работа выполнялась с использованием оборудования лаборатории ИННО-центра биотехнологии и экологии БГУ в 2016–2018 гг.

Результаты исследования

Влияние аморфного диоксида кремния на коэффициент размножения и длину побегов мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder

Выявлено стимулирующее рост и размножение мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder действие синтетического аморфного диоксида кремния, вводимого в состав среды Андерсона (табл. 1, рис. 1). Оптимальным для стимуляции роста побегов мериклонов являлось применение питательной среды Андерсона для размножения рододендронов, содержащей 100 мг/л аморфного кремнезема (рис. 2) – в этом случае средняя длина побегов составляла $2,29 \pm 0,24$ см, что в 2,1 раза больше показателя контрольного варианта ($1,09 \pm 0,16$ см). При использовании диоксида кремния в количестве 50 мг/л длина мериклонов рододендронов составляла $1,60 \pm 0,14$ см, что в 1,5 раза больше длины побегов контрольного варианта (достоверно при $p \leq 0,05$).

Таблица 1

Влияние аморфного диоксида кремния на морфометрические показатели растений-регенерантов рододендронов в культуре *in vitro*

Вариант	Контроль	50 мг/г	100 мг/г	150 мг/г
Длина побега, мм	$1,09 \pm 0,16$	$1,60 \pm 0,14^*$	$2,29 \pm 0,24^*$	$1,01 \pm 0,13$
Коэффициент размножения, штук	$13,17 \pm 1,92$	$35,50 \pm 2,24^*$	$19,00 \pm 1,89^*$	$12,00 \pm 1,21$

* – достоверно при $p \leq 0,05$

Включение в состав питательной среды аморфного диоксида кремния в количестве 150 мг/г не приводило к увеличению длины побега – в этом случае она составляла $1,01 \pm 0,13$ см, что примерно соответствовало аналогичному показателю для растений контрольного варианта ($1,09 \pm 0,16$ см, отличия недостоверны при $p \leq 0,05$).

Введение в состав среды Андерсона для размножения рододендронов аморфного диоксида кремния приводило к увеличению коэффициента размножения опытных растений. Коэффициент размножения рододендронов в контрольном варианте составил $13,17 \pm 1,92$, при введении диоксида кремния в количестве 50 мг/л – $35,50 \pm 2,24$, что в 2,7 раза больше показателя контрольного варианта (отличия достоверны при $p \leq 0,05$, табл. 1, рис. 2).

Использование питательной среды Андерсона с диоксидом кремния в количестве 100 мг/л приводило к увеличению коэффициента размножения рододендронов в 1,4 раза по сравнению с контролем, отличия достоверны при $p \leq 0,05$. Средний показатель составил $19,00 \pm 1,89$ шт. Коэффициент размножения растений регенерантов на питательной среде с содержанием диоксида кремния 150 мг/л составлял $12,00 \pm 1,21$, что немного меньше по сравнению с растениями контрольного варианта (отличия недостоверны при $p \leq 0,05$).

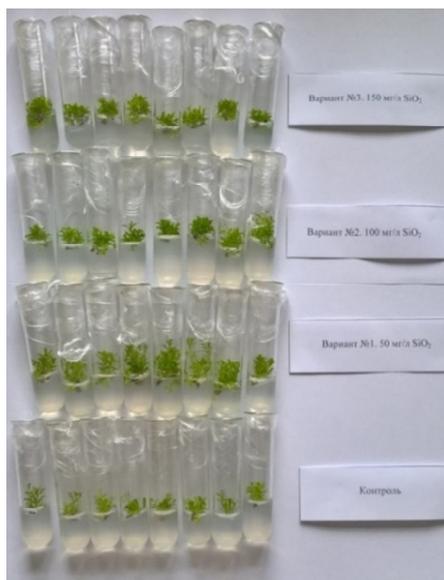


Рис. 1. Влияние аморфного диоксида кремния на рост растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder. Снизу вверх: контроль – среда Андерсона, вариант 1 – среда Андерсона, содержащая 50 мг/л аморфного кремнезема, вариант 2 – среда Андерсона, содержащая 100 мг/л аморфного кремнезема, вариант 3 – среда Андерсона, содержащая 150 мг/л аморфного кремнезема

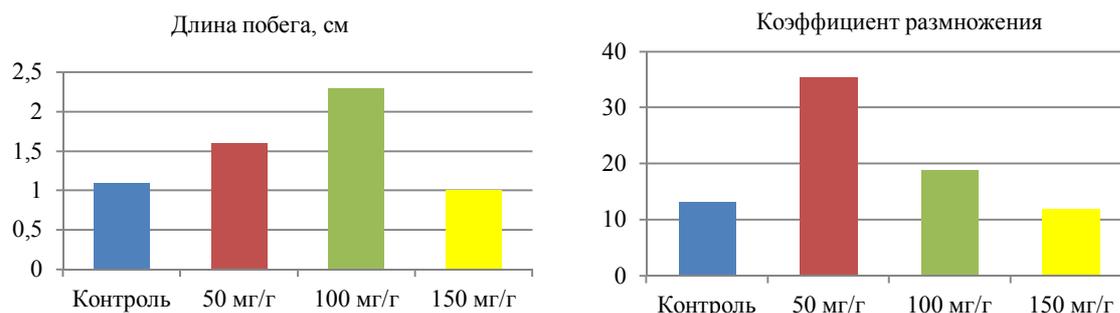


Рис. 2. Влияние аморфного кремнезема на длину побегов и коэффициент размножения растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder

Оптимальным для увеличения числа растений-регенерантов рододендронов являлось использование 50 мг/л аморфного кремнезема, что приводило к увеличению общего количества побегов в 2,7 раза. Использование такой питательной среды предпочтительно, если цель – получение большого количества посадочного материала в краткие сроки. Однако длина побегов таких мериклонов всего в 1,5 раза превышала контрольный показатель, что, видимо, связано с недостатком питательных веществ из-за большого количества побегов в конгломерате и замедлением темпов роста.

Применение среды, содержащей 100 мг/л аморфного кремнезема, увеличивало коэффициент размножения рододендронов всего в 1,4 раза, но посадочный материал характеризовался лучшим качеством. Основным преимуществом являлось более чем двукратное увеличение длины побега по сравнению с контрольными растениями и достаточно высокий коэффициент размножения.

Влияние аморфного кремнезема на укоренение растений-регенерантов Rhododendron roseum (Loisel.) Rehder в культуре in vitro

Изучали влияние аморфного кремнезема на процессы укоренения мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder, культивируемого *in vitro* с использованием среды Андерсона для укоренения (табл. 2).

Одновременно с изучением влияния аморфного кремнезема на корнеобразование оценивали его воздействие на рост и состояние побегов, а также коэффициент размножения. Обнаружено, что внесение аморфного кремнезема в питательные среды для стимуляции корнеобразования влияло также и на коэффициент размножения и длину мериклонов, причем имела тенденция к увеличению длины побегов укореняемых мериклонов при внесении диоксида кремния (табл. 2). Так, на питательной среде, содержащей 150 мг/л аморфного кремнезема, длина побегов рододендронов составляла $1,65 \pm 0,09$, что в 1,3 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта (достоверно при $p \leq 0,05$). Качество побегов, полученных на средах с аморфным кремнеземом, при визуальном осмотре лучше состояния контрольных растений.

Таблица 2

Влияние аморфного диоксида кремния на процессы укоренения растений-регенерантов рододендронов в культуре *in vitro*

Вариант	Длина побега, см	Коэффициент размножения, шт.	Длина корня, см	Кол-во корней, шт.
Среда Андерсона	$1,27 \pm 0,05$	$1,10 \pm 0,05$	$0,95 \pm 1,09$	$1,12 \pm 0,03$
Среда Андерсона+SiO ₂ (50 мг/л)	$1,54 \pm 0,08$	$1,00 \pm 0,04$	$1,88 \pm 0,27^*$	$2,27 \pm 0,85^*$
Среда Андерсона+SiO ₂ (100 мг/л)	$1,43 \pm 0,08$	$1,22 \pm 0,1$	$1,83 \pm 0,47^*$	$1,33 \pm 0,21$
Среда Андерсона+SiO ₂ (150 мг/л)	$1,65 \pm 0,09^*$	$1,59 \pm 0,54^*$	$1,59 \pm 0,54^*$	$2,33 \pm 0,33^*$
Среда Андерсона+ИУК (1,5 мг/л)	$1,88 \pm 0,05^*$	$1,40 \pm 0,16$	$1,01 \pm 0,09$	$3,26 \pm 0,13^*$
Среда Андерсона+SiO ₂ (50 мг/л)+ИУК (1,5 мг/л)	$1,77 \pm 0,17^*$	$1,05 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,08$	$4,76 \pm 0,44^*$
Среда Андерсона+SiO ₂ (100 мг/л)+ИУК (1,5 мг/л)	$1,65 \pm 0,11^*$	$1,00 \pm 0,03$	$1,19 \pm 0,09$	$4,38 \pm 0,61^*$
Среда Андерсона+SiO ₂ (150 мг/л)+ИУК (1,5 мг/л)	$1,95 \pm 0,12^*$	$1,15 \pm 0,08$	$1,87 \pm 0,09^*$	$4,44 \pm 0,63^*$

* – достоверно при $p \leq 0,05$

Обнаружена тенденция к увеличению коэффициента размножения мериклонов рододендронов при внесении аморфного кремнезема на этапе укоренения. Введение диоксида кремния в количестве 50 мг/л в среду Андерсона не приводило к заметному увеличению числа побегов – оно составляло

1,00±0,04, что практически соответствовало контрольному показателю (1,10±0,05). Использование 100 мг/л диоксида кремния приводило к увеличению числа побегов в 1,1 раза (1,22±0,1, недостоверно при $p \leq 0,05$). Применение среды, содержащей 150 мг/л диоксида кремния, приводило к увеличению коэффициента размножения опытных растений в 1,4 раза (достоверно при $p \leq 0,05$). Количество побегов опытных растений при внесении 150 мг/л препарата составляло 1,59±0,54, контрольных – 1,10±0,05 (табл. 2).

Изучали влияние внесения аморфного кремнезема в среду Андерсона на длину и количество корней. Использование питательной среды с диоксидом кремния в количестве 50 мг/л (без ИУК) приводило к двукратному увеличению средней длины корней мериклонов (рис. 3). В контрольном варианте длина корней мериклонов рододендронов составляла 0,95±1,09 см, при использовании 50 мг/л препарата – 1,88±0,27 см, 100 мг/л – 1,83±0,47 см. Использование для укоренения диоксида кремния в количестве 150 мг/л приводило к увеличению длины корней в 1,6 раза (1,59±0,54 см) по сравнению с контролем (достоверно при $p \leq 0,05$).

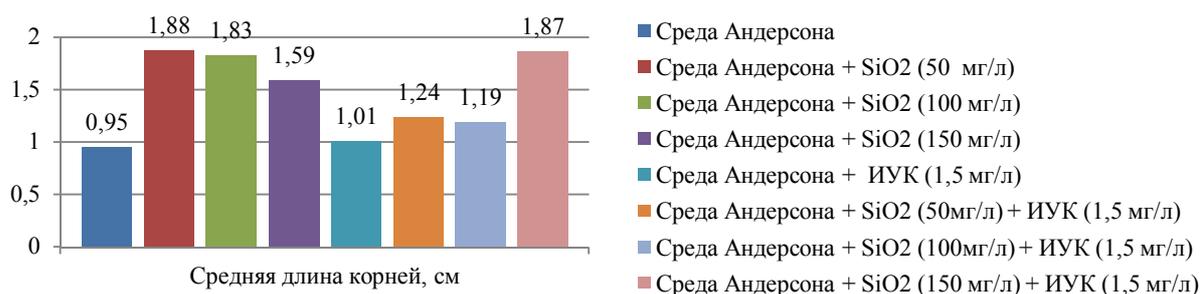


Рис. 3. Влияние состава питательной среды на длину корней растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder

Изучали влияние препарата на среднее количество корней мериклонов рододендронов (табл. 2, рис. 4). Использование среды Андерсона, содержащей 50 мг/г аморфного кремнезема (без ИУК), приводило к увеличению числа корней в 2,3 раза по сравнению с контролем. В контрольном варианте корнеобразование слабое – число корней составляло 1,12±0,03 шт., при использовании кремнезема – 2,27±0,85 шт. (достоверно при $p \leq 0,05$).

Использование среды с содержанием диоксида кремния 100 мг/л приводило к увеличению количества корней в 1,2 раза, 150 мг/л – в 2,3 раза по сравнению с контрольным вариантом. Среднее число корней мериклонов рододендронов на питательной среде, содержащей 100 мг/л аморфного кремнезема, составило 1,33±0,21 шт., 150 мг/л – 2,33±0,33 шт. Данные оказались недостоверными при $p \leq 0,05$ при использовании 100 мг/л препарата (табл. 2, рис. 4).

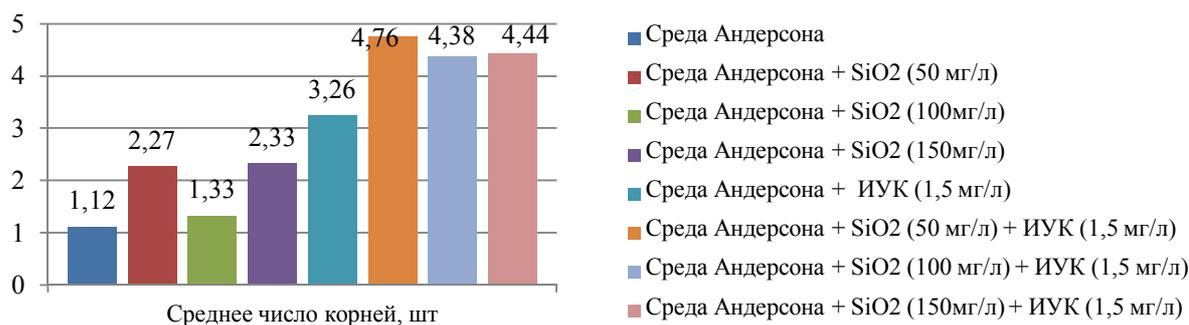


Рис. 4. Влияние состава питательной среды на число корней у растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder

*Влияние аморфного кремнезема в сочетании с ИУК на укоренение растений-регенерантов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder в культуре in vitro*

Оптимальным для стимуляции корнеобразования рододендронов являлось применение среды Андерсона, содержащей диоксид кремния в сочетании с ИУК, результаты представлены в таблице 2 и на рисунках 3–5. Выявлено, что использование данной среды приводило к формированию более качественных побегов, с большим количеством корней и листьев по сравнению с контрольным вариантом (рис. 5).

При культивировании регенерантов рододендронов на среде Андерсона, содержащей аморфный кремнезем и ИУК, длина побегов в 1,2 раза превышала аналогичный показатель при использовании среды, содержащей аморфный кремнезем без ИУК.

Введение аморфного кремнезема в среду Андерсона для укоренения, содержащую 1,5 мг/л ИУК, практически не влияло на длину побегов растений-регенерантов рододендронов и их коэффициент размножения. При использовании среды Андерсона с 1,5 мг/л ИУК средняя длина побегов рододендронов составила $1,88 \pm 0,05$ см, при введении в эту среду 50 мг/л диоксида кремния – $1,77 \pm 0,1$ см, 100 мг/л – $1,65 \pm 0,11$ см, 150 мг/л – $1,95 \pm 0,12$ см (отличия недостоверны при $p \leq 0,05$). Коэффициент размножения в контрольном варианте (среда Андерсона для размножения рододендронов + 1,5 мг/л ИУК) составлял $1,40 \pm 0,16$ шт., при использовании 50 мг/л диоксида кремния и 1,5 мг/л ИУК – $1,05 \pm 0,05$ шт., 100 мг/л и 1,5 мг/л ИУК – $1,00 \pm 0,03$ шт., 150 мг/л диоксида кремния и 1,5 мг/л ИУК – $1,15 \pm 0,08$ шт. (отличия недостоверны при $p \leq 0,05$).

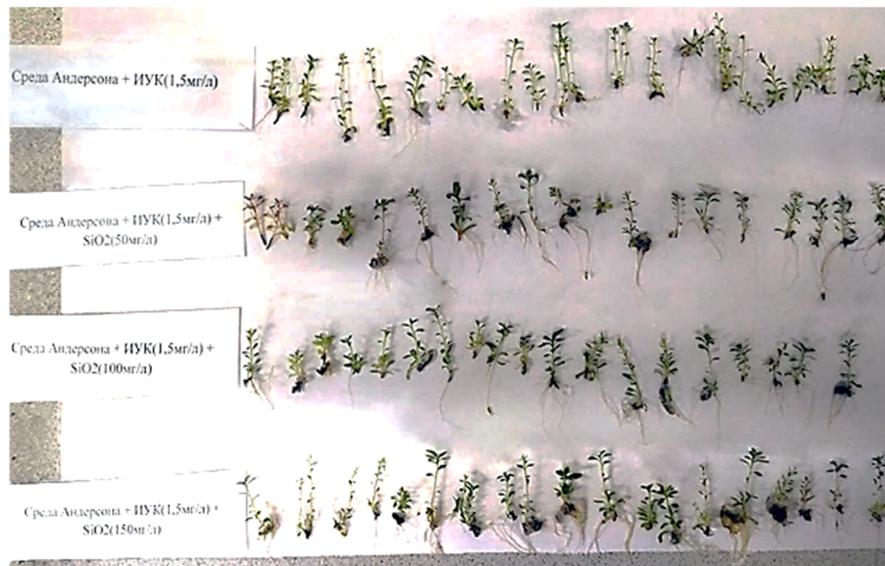


Рис. 5. Влияние аморфного кремнезема на корнеобразование мериклонов *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder в сочетании с ИУК. Сверху вниз: среда Андерсона, содержащая ИУК; среда Андерсона, содержащая ИУК и аморфный кремнезем в количестве 50 мг/л; среда Андерсона, содержащая ИУК и аморфный кремнезем в количестве 100 мг/л; среда Андерсона, содержащая ИУК и аморфный кремнезем в количестве 150 мг/л

Изучали влияние сочетанного воздействия аморфного кремнезема и ИУК на длину корней мериклонов рододендронов в культуре *in vitro* (рис. 3). Выявлено, что оптимальной являлась среда, содержащая 150 мг/л кремнезема и ИУК в количестве 1,5 мг/л – средняя длина корней составила $1,87 \pm 0,09$ см, что в 1,85 раза больше по сравнению с контрольным вариантом (средняя длина корней – $1,01 \pm 0,09$ см), отличия достоверны при $p \leq 0,5$. Использование среды, содержащей 50 мг/л и 100 мг/л диоксида кремния в сочетании с ИУК (1,5 мг/л), не приводило к существенным изменениям длины корней – отличия недостоверны при $p \leq 0,05$. Длина корней мериклонов рододендронов на среде, содержащей ИУК и 50 мг/л диоксида кремния, составляла $1,24 \pm 0,08$ см, на среде, содержащей 100 мг/л диоксида кремния и ИУК, – $1,19 \pm 0,09$ см.

Изучали влияние сочетанного воздействия аморфного кремнезема и ИУК на число корней у мериклонов рододендронов в культуре *in vitro* (рис. 4). Обнаружено, что внесение аморфного кремнезема в среду Андерсона для укоренения рододендронов, содержащую 1,5 мг ИУК, приводило к стимуляции корнеобразования. Оптимальным являлось использование среды с 50 мг/л диоксида кремния – в этом случае число корней превышало показатель контрольного варианта в 4,3 раза (достоверно при $p \leq 0,05$). При применении среды Андерсона без ИУК и аморфного кремнезема количество корней составило $1,12 \pm 0,03$ шт., среды Андерсона с ИУК без аморфного кремнезема – $3,26 \pm 0,13$ шт., среды, содержащей 50 мг/л диоксида кремния и ИУК – $4,76 \pm 0,44$ шт.

Применение других концентраций аморфного кремнезема также стимулировало рост корней рододендронов. При использовании 100–150 мг/л кремнезема в сочетании с ИУК количество корней в 3,9 раза превышало показатель контрольного варианта и составляло $4,38 \pm 0,61$ шт. и $4,44 \pm 0,63$ шт. на среде, содержащей 100 мг/л и 150 мг/л кремнезема соответственно (достоверно при $p \leq 0,05$).

Использование аморфного кремнезема в сочетании с ИУК (1,5 мг/г) являлось более эффективным для стимуляции корнеобразования рододендронов по сравнению с применением сред с диоксидом кремния, не содержащих ИУК. Использование аморфного кремнезема во всех изученных концентрациях в сочетании с ИУК приводило к увеличению длины корней в 1,5–2 раза по сравнению с вариантом без использования ИУК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson W. C. Propagation of rhododendrons by tissue culture. 1. Development of a culture medium for multiplication of shoots // *Comb Proc Int Plant Propag Soc.* 1975.
2. Avestan S., Naseri L. A., Hassanzade A., Sokri S. M., Barker A. V. Effects of nanosilicon dioxide application on in vitro proliferation of apple rootstock // *Journal of Plant Nutrition.* 2016. Vol. 39. № 6. P. 850–855. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1061550>
3. Balakhnina T., Borkowska A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses // *International Agrophysics.* 2013. Vol. 27. № 2. P. 225–232. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
4. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants // *Annals of applied Biology.* 2009. Vol. 155. № 2. P. 155–160. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>
5. Jones K. W. Silicon in banana plants: uptake, distribution and interaction with the disease fusarium wilt. 2014. <https://doi.org/10.14264/uql.2014.470>
6. Moriguchi T., Kozaki I., Matsuta N., Yamaki S. Plant regeneration from grape callus stored under a combination of low temperature and silicone treatment // *Plant cell, tissue and organ culture.* 1988. Vol. 15. № 1. P. 67–71. <https://doi.org/10.1007/BF00039890>
7. Qing W., Huiying H., Jinwen Z. Effect of exogenous silicon and proline on potato plantlet in vitro under salt stress // *China Vegetables.* 2005. Vol. 9. P. 16–18.
8. Radovet-Salinschi D., Cachita-Cosma D. Testing the regenerative capacity of *Solanum tuberosum* var. Gersa explants after 24 weeks storage in living collection // *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentara.* 2012. Vol. 11. P. 423–430.
9. Sivanesan I., Park S. W. The role of silicon in plant tissue culture // *Frontiers in plant science.* 2014. Vol. 5. P. 571. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00571>

REFERENCES

1. Anderson, W. C. (1975). Propagation of rhododendrons by tissue culture. 1. Development of a culture medium for multiplication of shoots. *In Comb Proc Int Plant Propag Soc.*
2. Avestan, S., Naseri, L. A., Hassanzade, A., Sokri, S. M., & Barker, A. V. (2016). Effects of nanosilicon dioxide application on in vitro proliferation of apple rootstock. *Journal of Plant Nutrition*, 39(6), 850-855. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1061550>
3. Balakhnina, T., & Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27(2), 225-232. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
4. Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of applied Biology*, 155(2), 155-160. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>
5. Jones, K. W. (2014). Silicon in banana plants: uptake, distribution and interaction with the disease fusarium wilt. <https://doi.org/10.14264/uql.2014.470>
6. Moriguchi, T., Kozaki, I., Matsuta, N., & Yamaki, S. (1988). Plant regeneration from grape callus stored under a combination of low temperature and silicone treatment. *Plant cell, tissue and organ culture*, 15(1), 67-71. <https://doi.org/10.1007/BF00039890>
7. Qing, W., Huiying, H., & Jinwen, Z. (2005). Effect of exogenous silicon and proline on potato plantlet in vitro under salt stress. *China Vegetables*, 9, 16-18.
8. Radovet-Salinschi, D., & Cachita-Cosma, D. (2012). Testing the regenerative capacity of *Solanum tuberosum* var. Gersa explants after 24 weeks storage in living collection. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentara*, 11, 423-430.
9. Sivanesan, I., & Park, S. W. (2014). The role of silicon in plant tissue culture. *Frontiers in plant science*, 5, 571. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00571>

Немцова Е. В., Харин А. В., Разлуго И. А. Влияние диоксида кремния «Ковелос-Сорб» на параметры роста *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder в культуре in vitro // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 48–55. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/08>

Nemtsova, E. V., Harin, A. V., & Razlugo, I. A. (2020). The influence of silicon dioxide Kovelos-Sorb on growth characteristics of *Rhododendron roseum* (Loisel.) Rehder cultivated in vitro. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1), 48–55. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/08>
