

Е.Н. Кубарев^{1,2,3}, Н.В. Верховцева³, А.Э. Роберт⁴, Д.Д. Госсе³

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОЙ ИНФИЛЬРАЦИИ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ЧЕРЕНКОВ ДЕКОРАТИВНЫХ И ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

¹Учебно-опытный почвенно-экологический центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

²Евразийский центр по продовольственной безопасности Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

³Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

⁴Аграрно-технологический институт Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Приведены результаты исследования стимуляции черенков барбариса Тунберга (*Berberis thunbergii* DC) с использованием технологии вакуумной инфильтрации для их принудительного насыщения водой. При замачивании черенков в вакуумном инфильтраторе в разреженной среде (0,2 атмосферы) зарегистрировано увеличение их массы на 7,1 % по сравнению с контролем (замачивание в дистиллированной воде при атмосферном давлении) и в два раза более интенсивное формирование пазушных листьев. Содержание азота в обработанных и необработанных черенках достоверно не различались. В варианте с вакуумной инфильтрацией отмечено статистически значимое снижение содержания фосфора и калия в растительном материале и повышение содержания дисахаридов, что свидетельствует об интенсификации биохимических процессов.

Ключевые слова: разреженная среда, вакуумный инфильтратор, агрохимические показатели, сахарины, барбарис Тунберга, *Berberis thunbergii*

Цитирование: Кубарев Е.Н., Верховцева Н.В., Роберт А.Э., Госсе Д.Д. Применение вакуумной инфильтрации для стимуляции черенков декоративных и плодовых растений // Промышленная ботаника. 2025. Вып. 25, № 4. С. 160–167. DOI: 10.5281/zenodo.17801254

Введение

Использование высокотехнологичных приемов в растениеводстве и питомниководстве имеет важное научное и практическое значение. Повышение эффективности и результативности имеющихся способов размножения декоративных и плодовых культур, одним из которых является черенкование, представляется актуальным и продуктивным направлением. Разработка и применение технологии вакуумной инфильтрации

для ряда сложно размножаемых культур играет важную роль в успешном черенковании. Следует отметить, что слабое развитие корешков на черенках может приводить к невысоким показателям зимостойкости укорененных растений и снижению качества получаемого материала для посадок [9].

При размножении барбариса Тунберга одревесневшими черенками стимуляция развития

корней достигается различными способами: применением биологически активных веществ, бороздованием, обработкой в вакуумизированной среде дегазированным раствором с различными агрохимикатами. Показано, что корни всегда возникают в непосредственной близости от сосудистого камбия. Исследователями было уделено особое внимание тому факту, что при регенерации побегов и корней из каллусной ткани первые развиваются экзогенно, в то время как корневые зародыши исключительно эндогенны [12].

Не менее важную роль играет и правильный подбор субстрата для развития черенков барбариса. Исследователями было отмечено, что субстрат, состоящий из верхового торфа с добавлением песка, значительно увеличивает процент укоренения, длину образующихся корней и побегов, сухой вес побегов, количество побегов и количество листьев [13].

Обработка черенков в вакуумизированной среде начала применяться еще с 1980-х гг. [1, 6, 8, 10] и до сих пор остается актуальным и эффективным методом, который имеет широкие экспериментальные горизонты и потенциал усовершенствования технологических приемов вакуумизации с применением различных агрохимикатов. При этом обработка в разреженной среде черенков барбариса и других растений не имеет в настоящее время широкого распространения.

Замачивание черенков растений позволяет сократить время обработки, более полно насытить ткани обрабатываемых черенков (в сравнении с вымачиванием черенков без разреженной среды) и снизить концентрацию и расход стимуляторов роста, которые активизируют физиологические процессы, и других средств питания растений более чем в три раза в растворе, а, следовательно, и более экономно использовать добавляемые реагенты [11].

Количество обработок одревесневших черенков напрямую связано с продолжительностью экспозиции – в случае, если продолжительность экспозиции не превышает 5–7 минут, авторы зачастую предлагают проведение нескольких обработок [6, 10]. Если же продол-

жительность экспозиции составляет больше указанного интервала, то ограничиваются одной обработкой. В таком случае длительность экспозиции составляет 20–30 минут [8]. Рекомендуемая сила разрежения, которую авторы приводят в своих работах, колеблется от 0,4 до 1 атм. и зачастую зависит от количества обработок и времени экспозиции.

Цель и задачи исследований

Цель работы – испытать технологию обработки черенков водой в вакуумированной среде. Задачи: повысить насыщаемость водой черенков растений с помощью вакуумированной среды; подобрать приемлемые условия насыщения черенков в вакуумной установке; провести биохимические анализы растительного материала.

Объекты и методики исследований

Морфометрические характеристики черенков фиксировали на разных стадиях эксперимента. Для измерения массы использовали весы лабораторные электронные аналитические (производство фирмы AND, модель GR-120, I класс точности). Значения фиксировали с точностью до миллиграмма. Измерение длины черенков проводили вручную при помощи линейки металлической измерительной 300 мм (ГОСТ 427-75). Значения фиксировали с точностью до миллиметра.

Заготовку черенков барбариса Тунберга осуществляли по общепринятой методике [4]. Длина черенков составляла 20 см. Было заготовлено 36 черенков текущего года вегетации, из которых половина была обработана в разреженной среде, а вторая замачивалась в дистиллированной воде при естественном атмосферном давлении вне камеры. Маточному растению, которое использовалось для заготовки черенков, 5 лет.

Для проведения исследований использовали модель вакуумного инфильтратора семян № 221835, на которую был получен патент в 2023 г. [7].

Установка для обработки черенков состоит из стальной вакуумной камеры с прозрачной крышкой, в которую герметично вмонтированы клапаны воздуховода и датчика, фиксирующего

параметры вакуумизации от 0,02 до 1 атмосферы. Разрежение воздуха в камере создавалась с помощью подключенного вакуумного насоса.

Черенки помещали в вакуумную камеру, в которой была емкость, предварительно заполненная дистиллированной водой, после чего камера закрывалась и включался вакуумный насос, который создавал необходимое разрежение. После достижения разрежения 0,2 атмосферы насос отключался. Продолжительность вакуумизации составляла 20 минут. Затем выравнивали давление в вакуумной камере и извлекали черенки из воды. Сразу после завершения обработки черенки взвешивали и фиксировали полученное значение. Контрольную партию замачивали в дистиллированной воде.

Сразу после проведения обработки черенки пересаживали в герметично закрывающиеся полиэтиленовые пакеты с замком ZIP-LOCK объемом 750 мл. В пакеты предварительно был засыпан грунт массой 0,4 кг, влажность которого была доведена до ППВ. Черенок заглубляли в грунт на 5 см. Использовали грунт (производитель ООО «Питэр Пит», г. Дзержинский), информацию о составе которого брали из сертификата производителя: торф низинный + верховой; речной песок (10 % для повышения дренирующих свойств); азофоска (нитроаммофоска); мука известняковая (доломитовая) для нейтрализации кислотности. Основные питательные вещества в мг/л, не менее: азот минеральный ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) – 100; фосфор (P_2O_5) – 80; калий (K_2O) – 130; рНсол – не менее 5,5. Пакет закрывали замком ZIP-LOCK. При таком способе содержания растений решается проблема постоянного увлажнения – герметичность пакетов позволяла не производить полив в течение всего периода развития.

В каждый вегетационный сосуд пересаживали по три черенка. После пересадки черенки дополнительно увлажняли при помощи пульверизатора. Полив проводили еженедельно из расчета 500 мл воды на сосуд. Искусственное освещение черенков осуществляли при помощи двух ламп: круглосуточное освещение – фитосветодиодной лампой (красный и синий спектр), режим досвета утром и

вечером – натриевой газоразрядной лампой мощностью 250 Вт.

Наблюдения за черенками вели по декадам, при этом фиксировали количество пазушных листьев у черенка.

Вегетационный опыт был завершен на 62-е сутки после пересадки черенков в сосуды. Таким образом, с учетом этапа укоренения, длительность которого составила 28 суток, продолжительность всего эксперимента составила 90 суток.

Для проведения биохимических анализов растительный материал стеблевых черенков барбариса Тунберга фиксировали при температуре +90 °C в течение 20 минут. После проведения фиксации растительный материал досушивали при комнатной температуре, размалывали до свободного прохода через сито с диаметром отверстий 1 мм для проведения лабораторных анализов [2, 5]. Мокре озоление растительного материала проводили по Гинзбург. Определение общего азота в растительных образцах проводили по методу Кельдаля. Содержание фосфора (P_2O_5) определяли фотоколориметрически. Содержание калия (K_2O) – на пламенном фотометре. Содержание сахаров определяли фотометрически с пикриновой кислотой (метод Крецелиуса – Зейферта в модификации Г.А. Соловьева). Актуальную кислотность грунта определяли рН-метром при соотношении почва : вода 1 к 2,5 [2, 5]. Обработку данных проводили методами математической статистики в пакете R. Анализировали содержание азота, фосфора и калия, моносахаридов, дисахаридов и суммы сахаров в растительных образцах.

Проверка нулевой гипотезы о наличии различий между вариантами была проведена при помощи однофакторного дисперсионного анализа. Следующим этапом было проведение апостериорных сравнений для выявления достоверных различий между вариантами [3]. Апостериорные сравнения проводили с использованием теста HSD Тьюки.

Результаты исследований и их обсуждение

Научные исследования были проведены с целью апробации методов стимулирования процессов приживаемости черенков, ускорения

роста и развития вегетативных частей декоративных и плодовых растений. Проведенные испытания технологии насыщения черенков в разреженном пространстве водой и растворами с различными агрохимикатами имеют перспективы внедрения в производство черенкования, в том числе для питомника плодовых и декоративных культур Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ имени М.В. Ломоносова.

Замачивание черенков в вакуумном инфильтраторе в разреженной среде¹ показало статистически значимое увеличение их биомассы относительно контрольного варианта опыта, что подтвердилось значениями наименьшей существенной разницы (табл. 1). Увеличение биомассы, выраженное в %, также было статистически значимо.

Таблица 1. Изменение массы черенков барбариса Тунберга при замачивании

Вариант опыта	Масса черенков, г		Изменение массы, %
	до обработки	после обработки	
Вода	2,97	3,05	2,6
Вакуум	3,45	3,79	9,7
HCP	0,33	0,52	5,0

Примечание. HCP – наименьшая существенная разница

На черенках, которые замачивали в разреженной среде, наблюдалось появление пазушных листьев раньше, чем на черенках без вакуумной обработки. В начале опыта пазушных листьев в варианте с вакуумом было в два раза больше, чем в контрольном варианте (рис. 1). В течение вегетационного опыта количество листьев уменьшилось в обоих вариантах из-за усыхания. В день завершения опыта в контроле было в четыре раза меньше листьев, чем в варианте с вакуумом. Биомасса распустившихся листьев была недостаточна для проведения дальнейшего анализа, поэтому их убрали на всех черенках и далее осуществляли аналитическую работу только с черенками без листьев. Биомасса черенков, обработанных в разрежен-

ной среде, с удаленными листьями, оставалась больше – 3,40 г, чем необработанных – 2,93 г, хотя и для контрольных и опытных черенков она снизилась на 14 и 2 %, соответственно.

На рисунке 2 представлены результаты биохимических анализов, имеющих достоверную разницу, согласно результатам теста Тьюки.

Статистически значимое снижение содержания фосфора и калия в растительном материале наблюдали в варианте, где черенки барбариса были помещены в вакуумный инфильтратор. Содержание азота в обработанных и необработанных черенках достоверно не различались между собой и составляло 0,08 %. Количество сахаридов в черенках, обработанных в вакууме, оказалось ниже, чем в замоченных в воде без обработки (рис. 3).

Согласно результатам теста Тьюки, это снижение было значимым.

Пересчет значений содержания питательных компонентов на биомассу показал, что статистически значимое снижение в количестве фосфора и калия в обработанных черенках сохраняется, в содержании азота и моносахаридов различий не было отмечено несмотря на более высокую их биомассу. Однако, дисахаридов в обработанных черенках было значимо больше (табл. 2).

В первые дни вегетационного опыта наблюдалась существенная разница между черенками, где при замачивании использовался вакуум, и контролем. Вероятно, вода, заполнившая внутренние полости при проведении обработки черенков в разреженной среде, способствовала стимуляции ростовых процессов, что привело к более мощному росту и быстрому развитию пазушных листовых пластинок на обработанных черенках барбариса (рис. 1).

Пониженное содержание фосфора и калия в растительном материале стеблевой части черенков, которые были обработаны в вакуумном инфильтраторе, свидетельствовало о том, что более интенсивное образование пазушных листьев требует большего притока к ним основных элементов питания от стеблевой части к

¹Далее для краткости написания слова «разреженная среда» были заменены на слово «вакуум» без изменения содержания понятия

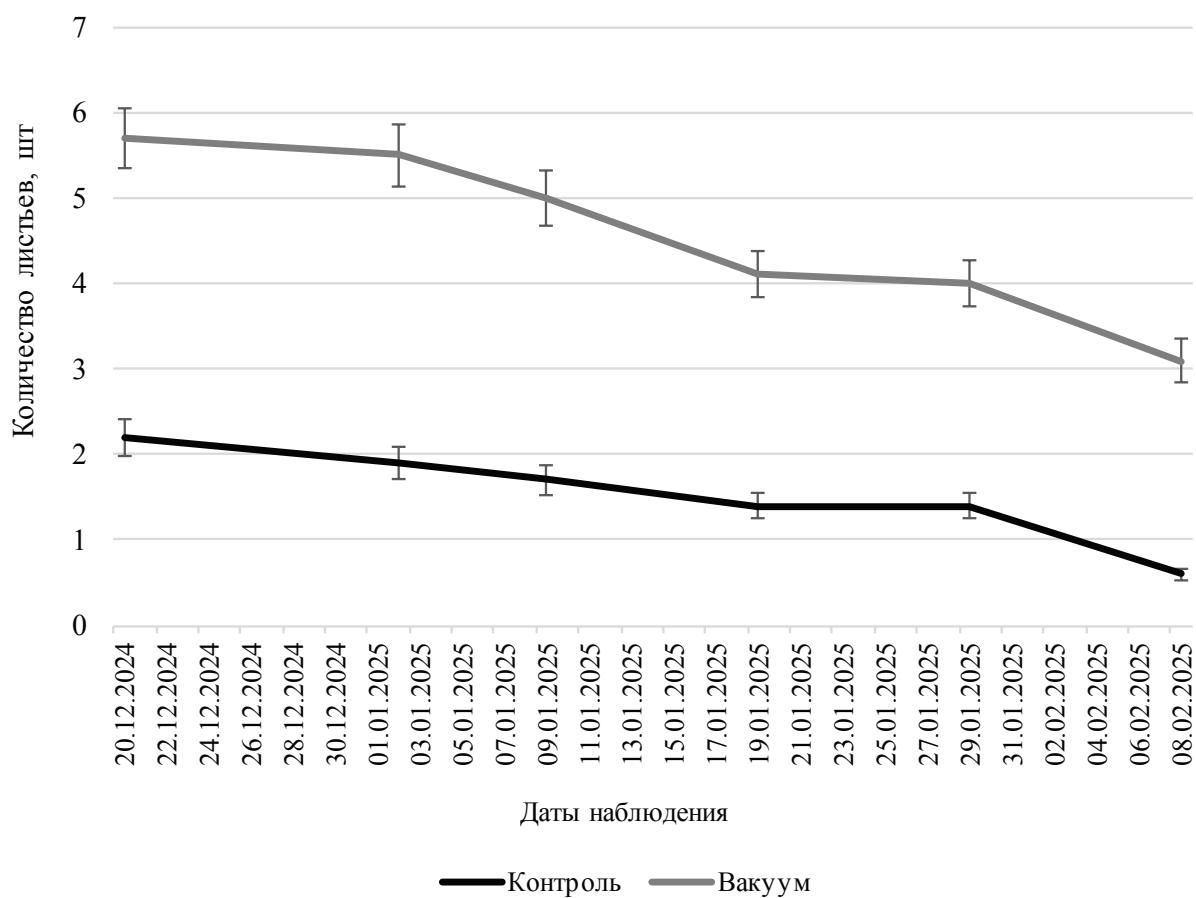


Рис. 1. Наблюдения за количеством пазушных листьев на черенках барбариса Тунберга
Fig. 1. Observations on the number of axillary leaves on cuttings of Thunberg barberry

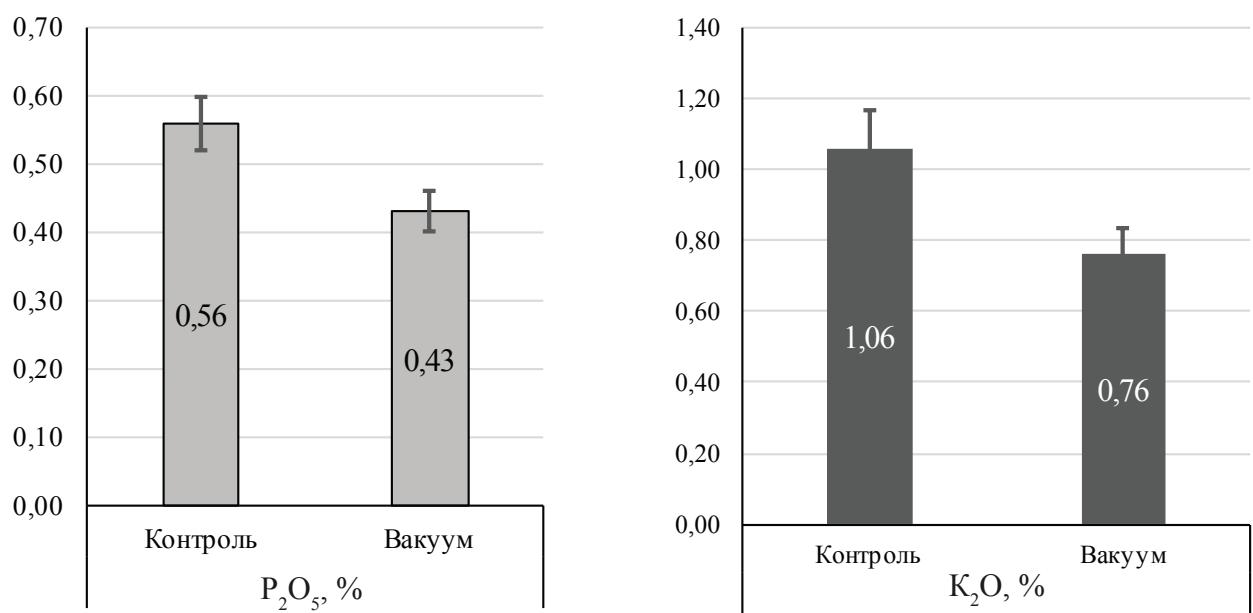


Рис. 2. Содержание фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O), % в черенках барбариса Тунберга
Fig. 2. Phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O) content, % in Thunberg barberry cuttings

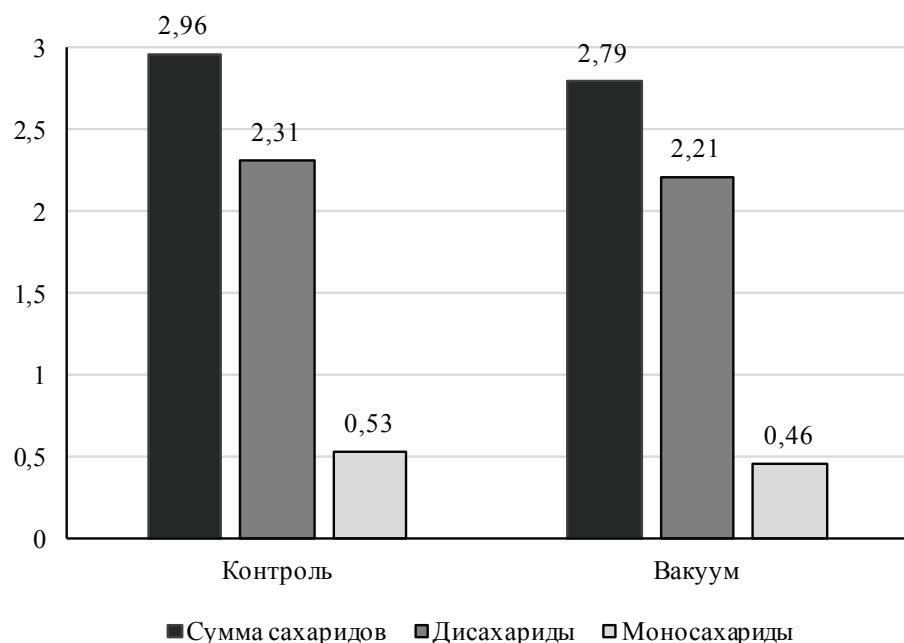


Рис. 3. Содержание сахаридов в черенках барбариса Тунберга

Fig. 3. Saccharide content in cuttings of Thunberg barberry

Таблица 2. Содержание питательных компонентов в черенках после вегетационного опыта (пересчет на биомассу – вынос)

Вариант опыта	Масса черенков, г	Питательные компоненты, %				
		Нобщ	P ₂ O ₅	K ₂ O	Моносахарины	Дисахарины
Вода	2,93	0,23	1,64	3,10	1,55	6,76
Вакуум	3,40	0,27	1,46	2,28	1,56	7,51

листовой, где происходят процессы формирования листовой пластинки.

Повышенное содержание дисахаридов в растительном материале черенков, вероятно, связано с тем, что интенсификация водой в вакуумной среде образования листьев, наблюдавшаяся в этом варианте, способствовала увеличению активной фотосинтезирующей поверхности растений. Моносахариды использовались как энергетический материал в триаде взаимосвязанных биохимических цепей «гликолиз, цикл Кребса, дыхательная цепь» с образованием необходимых энергетических компонентов – молекул АТФ. Дисахариды, как предшественники целлюлозы, транспортировались в пентозофосфатный цикл (шунт гликолиза), и, по-видимому, далее будут использованы в биосинтезе клеточных стенок

растений. Разумеется, этот биохимический эффект обработки черенков в вакууме требует дальнейших доказательных экспериментов.

Полученные результаты на данном этапе исследований по влиянию вакуумной инфильтрации на направленность биохимических процессов и последующее укоренение черенков не могут выступать в качестве самодостаточной схемы стимуляции при вегетативном размножении барбариса Тунберга и нуждаются в доработке перед введением в практическое черенкование.

Выводы

Обработка черенков *Berberis thunbergii* водой в разреженной среде статистически значимо увеличила их насыщаемость водой, что способствовало повышению массы в среднем на семь

процентов по сравнению с черенками, которые замачивали в воде без вакуумной обработки.

Обработка черенков в вакуумизированной среде повысила интенсивность биологических процессов в растениях, что проявилось в увеличении количества пазушных листьев в два раза.

Вакуумизация черенков снижала в вегетационном опыте в стеблях содержание таких питательных элементов как фосфор и калий, не повлияла на содержание азота и моносахаридов, привела к статистически достоверному повышению содержания дисахаридов в стеблях растения в сравнении с контролем даже при пересчете на более высокую образовавшуюся биомассу, что свидетельствует об интенсификации биохимических процессов.

Коллектив авторов выражает благодарность АО «ФЕРТИКА» за материальную поддержку научных исследований и предоставление высококачественных агрохимикатов.

1. *Браду Н.В.*, Лукашевич П.А. Устройство для вакуум-инфилтрации пористого материала. Номер свидетельства: SU 386606 A1. 1973.
2. *Дурынина Е.П.*, Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений // М.: Изд-во МГУ, 1998. 113 с.
3. *Зинченко А.П.*, Тарасова О.Б., Уколова А.В. Практикум по статистике: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 080100.62 «Экономика» (квалификация (степень) «Бакалавр» и 080200.62 «Менеджмент». 3-е изд., переработ. и доп. М., 2013. 314 с.
4. *Мак-Миллан Броуз Ф.* Размножение растений: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 192 с.
5. *Минеев В.Г.*, Сычев В.Г., Амельянчик О.А., Болышева Т.Н., Воронина Л.П., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С.,

Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

6. *Орехов Д.А.*, Волович П.И. Способ ускоренной обработки черенков перед посадкой. Государственный патентный комитет Республики Беларусь. Патент BY 1663 C1. 1997.
7. *Патент РФ на полезную модель №221835.* 24.11.2023 г. Авторы: Кубарев Е.Н., Верховцева Н.В., Макаров О.А., Аньшаков В.И., Морачевская Е.В., Загоруйко, М.В. Балашов Г.Р., Роберт А.Э. заявл. 26.12.2022 г.
8. *Соболев С.Ю.* Морфологические признаки сортов винограда в питомнике и биологические особенности корнесобственного размножения в условиях Республики Беларусь / под ред. Р.Э. Лойко. Гродно: ГГАУ, 2011. 236 с.
9. *Тарасенко М.Т.* Размножение растений зелеными черенками. М.: Колос, 2001. 189 с.
10. *Шаманская Л.Д.* Использование вакуума для обеззараживания посадочного материала черной смородины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2006. N 6(166). С. 25–32.
11. *Dobrzanski A.*, Anyszka Z., Elkner K. Reakcja marchwi na ekstrakty pochodzenia naturalnego z alg z rodzaju *Sargassum* – AlgaminoPlant i z leonardytu – HumiPlant // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. 2008. Vol. 53, N 3. P. 53–58.
12. *Sledge W.A.* The rooting of woody cuttings considered from the standpoint of anatomy // Journal of Pomology and Horticultural Science. 1930. Vol. 8, Iss. 1. P. 1–22.
13. *Abdulrahman Y.A.* Effect of wounding and growing media on rooting of Barberry shrub (*Berberis vulgaris*) hard wood cuttings // Kirkuk University Journal for Agricultural Sciences. 2019. Vol. 10, Iss. 4. 101–108.

Поступила в редакцию 20.10.2025

APPLICATION OF VACUUM INFILTRATION FOR STIMULATION OF ORNAMENTAL AND FRUIT PLANT CUTTINGS

E.N. Kubarev^{1,2,3}, N.V. Verhovtseva³, A.E. Robert⁴, D.D. Gosse³

¹*Educational and experimental soil-ecological center
of Lomonosov Moscow State University*

²*Eurasian Center for Food Security of Lomonosov
of Lomonosov Moscow State University*

³*Federal State Educational Institution of Higher Professional Education
Lomonosov Moscow State University*

⁴*Agrarian and Technological Institute
of Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba*

The results of research on stimulation of barberry cuttings (*Berberis thunbergii* DC) using vacuum infiltration technology for their forced saturation with water are presented. When soaking cuttings in a vacuum infiltrator in a rarefied medium (0.2 atmosphere), an increase in their weight by 7.1 % was recorded compared to the control (soaking in distilled water at atmospheric pressure) and twice as intense formation of axillary leaves. The nitrogen content of the treated and untreated cuttings was not significantly different. In the variant with vacuum infiltration, a statistically significant decrease in the content of phosphorus and potassium in the plant material and an increase in the content of disaccharides were noted, which indicates the intensification of biochemical processes.

Key words: rarefied medium, vacuum infiltrator, agrochemical indicators, sugars, Thunberg barberry, *Berberis thunbergii*

Citation: Kubarev E.N., Verhovtseva N.V., Robert A.E., Gosse D.D. Application of vacuum infiltration for stimulation of ornamental and fruit plant cuttings // Industrial botany. 2025. Vol. 25, N 4. P. 160–167. DOI: 10.5281/zenodo.17801254
