

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/2>

УДК 631.532/.535:581.14



Влияние микроудобрений на основе водорослей на рост и развитие березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), размноженной по технологии *in vitro*

Петр М. Евлаков¹✉, peter.evlakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Робенсон Бернард Порт-Луи², seaweedseychelles@gmail.com

Бенжамин Бернард Порт-Луи³, ceo@yes-seychelles.com

Татьяна А. Гродецкая¹✉, tatyana.pokusina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-2792>

Ольга А. Федорова¹, fed-olga78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

Владлена С. Рыжкова¹, vladlena.r11@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9727-3088>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²ООО «Морские водоросли Сейшельских островов»

³НКО «Развитие возможностей для молодежи на Сейшельских островах»

В последние десятилетия все большую популярность в мире приобретает органическое земледелие, в котором не используются искусственные химические удобрения и пестициды. С давних пор морские водоросли использовались в качестве стимулятора роста растений для получения высококачественной экологически чистой продукции. В то же время, их влияние на древесные культуры еще недостаточно изучено. В статье рассматривается влияние микроудобрений Seaweed Seychelles Liquid[®]™ на основе водорослей с Сейшельских островов на рост и развитие березы пушистой 15-1 (*Betula pubescens* Ehrh.), размноженной способом *in vitro*. В качестве объекта исследования использовали экспланты на стадии мультипликации и растения, переведенные для доращивания в условия закрытой корневой системы (ЗКС). В среду woody plant medium (WPM) для культивирования древесных растений, дополненную регуляторами роста 300 мкг/л бензиламино-пурина (БАП) и 200 мкг/л индоллил-3-уксусной кислоты (ИУК) для подкормки вносили микроудобрения в концентрации 10, 15, 20, 25 % об. Рекомендованную производителем концентрацию 20% об. использовали при переводе в нестерильные условия. Растения культивировали в контролируемых условиях *in vitro* лаборатории и теплицы в течение двух недель и двух месяцев, соответственно, после чего фиксировали изменение морфометрических параметров. Полученные результаты свидетельствуют о стимулирующем воздействии органического удобрения при использовании концентраций 20 и 25 % об. на микроклоны березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в условиях *in vitro*. Более значительная стимуляция наблюдалась в условиях ЗКС, где прирост опытных растений был выше контрольных на 22% по окончании опыта. Результаты проведенных экспериментов позволяют рекомендовать органические удобрения из морских водорослей для стимуляции ростовых процессов у березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) при использовании концентраций не менее 20% об. при культивировании в условиях ЗКС.

Ключевые слова: морские водоросли, органические удобрения, древесные растения, береза пушистая, *Betula pubescens*, *in vitro*, клональное микроразмножение, закрытая корневая система, ростовые процессы

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической

продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатическим особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Влияние микроудобрений на основе водорослей на рост и развитие березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), размноженной по технологии *in vitro* / П. М. Евлаков, Робенсон Бенард Порт-Луи, Бенжамин Бенард Порт-Луи, Т. А. Гродецкая, О. А. Федорова, В. С. Рыжкова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 17–29. – Библиогр.: с. 25–28 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/2>.

Поступила: 02.11.2023. **Пересмотрена** 20.11.2023. **Принята:** 20.11.2023. **Опубликована онлайн:** 30.11.2023


Article


Study of the effect of Seychelles seaweed fertilizers on the parameters of growth and development of *Betula pubescens* propagated *in vitro*


Peter M. Evlakov¹✉, peter.evlakov@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Robenson Bernard Port-Louis², seaweedseychelles@gmail.com

Benjamin Bernard Port-Louis³, ceo@yes-seychelles.com

Tatiana A. Grodetzkaya¹✉, tatyana.pokusina@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5448-2792>

Olga A. Fedorova¹, fed-olga78@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

Vladlena S. Ryzhkova¹, vladlena.r11@yandex.ru,  <https://orcid.org/0009-0000-9727-3088>

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

² Seychelles Seaweed LLC

³ Youth non-profit organization “Youth Empowerment Seychelles”

Abstract

In recent decades, organic farming, which does not use artificial chemical fertilizers and pesticides, has become increasingly popular in the world. Since ancient times, seaweed has been used as a plant growth stimulant to produce high-quality environmentally friendly products. At the same time, their influence on tree crops has not yet been sufficiently studied. The article examines the effect of Seaweed Seychelles Liquid[®]™ microfertilizers based on algae from the Seychelles on the growth and development of downy birch 15-1, propagated *in vitro*. The objects of study were explants at the multiplication stage and plants transferred into pots for growing in greenhouse conditions. Microfertilizers at a concentration of 10, 15, 20, 25 % vol. were added to the woody plant medium (WPM) for the cultivation of woody plants, supplemented with growth regulators 300 µg/l benzylamino-purine (BAP) and 200 µg/l indolyl-3-acetic acid (IAA). The manufacturer's recommended concentration 20% vol. was used when transferring to non-sterile conditions. Plants were cultivated under controlled conditions in *in vitro* laboratory and greenhouse for two weeks and two months, respectively, after which changes in morphometric parameters were recorded. The results obtained indicate the stimulating effect of organic fertilizer when using concentrations of 20 and 25% vol. on birch microclones *in vitro*. More significant stimulation was observed for potted plants, where the growth of experimental objects was 22% higher than control plants at the end of the experiment. The results of the experiments allow us to recommend organic fertiliz-

ers from seaweed to stimulate growth processes in woody plants when using concentrations of at least 20% vol. when cultivated in pots.

Keywords: seaweed, organic fertilizers, woody plants, *Betula pubescens*, in vitro, clonal micropropagation, potted plants, growth processes

Funding: The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000020-6-4.1.2 "Selection of economically valuable and resistant to climate change forest crops, characterized by high biological productivity and carbon sequestration potential, taking into account regional soil and climatic characteristics for the implementation of forest climate projects (FZUR-2023-0002)")

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

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

For citation: Evlakov P. M., Robenson Bernard Port-Louis, Benjamin Bernard Port-Louis, Grodetskaya T. A., Fedorova O. A., Ryzhkova V. S. (2023). The effect of seaweed microfertilizers on the growth and development of *Betula pubescens* propagated using in vitro. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 3 (51), pp. 17-29 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/2>.

Received: 02.11.2023. **Revised:** 20.11.2023. **Accepted:** 20.11.2023. **Published online:** 30.11.2023.

Введение

В последние десятилетия использование морских водорослей для переработки и использовании в различных отраслях производства набирает стремительные обороты. Морские водоросли являются сырьем для производства биотоплива, косметики, фармацевтических препаратов, биопластиков и др. Одним из возможных вариантов использования водорослей является получение наночастиц методом «зеленого синтеза» [1]. Кроме того, они вносят значительный вклад в снижение парникового эффекта. В год морскими водорослями в среднем поглощается до 173 мегатонн углекислого газа [2].

Во многих промышленных странах синтетические удобрения в настоящее время замещаются органическими, которые не только не наносят вред растениям и человеку, но также существенно улучшают структуру почвы, изменяя ее механический состав и повышая образование почвенных гидроколлоидов [5], поддерживают состояние почвенной микрофлоры и стимулируют рост растений [3,4].

Морские водоросли могут использоваться в сыром виде при закладывании их в почву, в виде компоста, золы или вытяжек при корневой и внекорневой подкормке. Биологически-активные вещества, обнаруженные в составе морских водорослей, могут оказывать положительное действие на иммунитет растений в условиях стресса. В экстрактах морских водорослей были обнаружены различные фитогормоны и регуляторы роста, включая ауксины, цитокинины, этилен, гиббереллины, абсцизовую кислоту, влияющие на морфогенез растений [6, 7, 8]. Во многих работах показано положительное воздействие морских водорослей на формирование целых растений из каллуса, улучшение их морфо-анатомических и физиолого-биохимических характеристик. Использование коммерческого препарата морских водорослей способствовало стимуляции укоренения и роста побегов у *Lantana camara* и *Abelia × grandiflora* [9]. Применение удобрений на основе саргасовых водорослей в концентрации 20 % с частотой одного раза в неделю способствовало увеличению высоты, биомассы, количества листьев, сухого веса и количества

цветков у розы [10]. Повышение поглощения углекислого газа при использовании водорослей было установлено при культивировании риса [11]. Отмечена регуляция генов цветения у томата при культивировании с использованием саргасовых водорослей [12].

Высокое содержание микроэлементов и фитогормонов делают удобрения на основе водорослей перспективными для использования в технологии культивирования *in vitro*. Применение экстрактов морских водорослей *Fucus spiralis* и *Cystoseira myriophylloides* в концентрации 25% в среде MS способствовало увеличению эффективности регенерации у табака, в то время как увеличение концентрации удобрений вызывало токсический эффект [13].

Немаловажной является также роль удобрений на основе морских водорослей для борьбы со стрессом у растений [14, 15]. Их экстракты снижают активность патогенной микрофлоры и запускают защитные механизмы у растений [16]. При воздействии абиотического стресса применение микроводорослей стимулируется поглощение нутриентов и ростовые процессы [17]. Применение биостимуляторов из *Ascophyllum nodosum* способствовало восстановлению сои после осмотического стресса [18].

В России применение органических удобрений на основе морских водорослей считается новым направлением в сельском и лесном хозяйстве. Перспектива получения удобрений с улучшенными свойствами и более низкой стоимостью диктует необходимость интенсификации исследований в данной области.

В статье рассматривается влияние микроудобрений на основе водорослей с Сейшельских островов на рост и развитие березы пушистой 15-1, размноженной способом *in vitro*. Seaweed Seychelles Liquid[®]™ - это натуральный стимулятор роста растений, который

не содержит химических веществ. Он используется в виде спрея для получения здоровых растений, улучшения их роста, урожайности, скорости плодоношения, повышения сопротивляемость инфекциям и вредителям. Этот продукт может быть полезен для тех, кто хочет вырастить здоровые растения без использования химических пестицидов и инсектицидов.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись растения березы пушистой 15-1 (*Betula pubescens* Ehrh.), отобранные по 5 генам устойчивости к засухе и хранящиеся в коллекции *in vitro* Воронежского государственного лесотехнического университета. В опыте были использованы клонально размноженные растения на стадии мультипликации и дорастивания в условиях теплицы. Для подкормки и стимуляции ростовых процессов березы использовали удобрения Seaweed Seychelles Liquid[®]™ (Seaweed Seychelles Pty Ltd, Сейшельские острова). Микроэлементный состав удобрений представлен в табл. 1. Оценку влияния микроудобрения на ростовые процессы в культуре *in vitro* проводили на микропобегах березы на среде для древесных культур WPM. Среда готовилась по стандартной методике [19], перед стерилизацией в готовую среду вносили регуляторы роста 300 мкг/л бензиламинопурин (БАП) и 200 мкг/л индолил-3-уксусную кислоту (ИУК), а также раствор микроудобрений в концентрациях 10, 15, 20, 25 % об. В качестве контроля использовали среду без добавления микроудобрений. Для каждой испытуемой концентрации брали по 30 микропобегов (по 10 растений, повторность 3-кратная), которые по одному помещали в стерильные пробирки с готовой питательной средой. Перед началом эксперимента измеряли высоту микропобегов. Пробирки с эксплантами помещали на стеллажи с досвечиванием. Условия климатического режима: 16-ти часовой фотопериод при освеще-

шенности 2-3 клк, температуре 24-26°C. По истечении 2 недель оценивали жизнеспособность микропобегов, а также их высоту. По разнице с первоначальными данными по высоте, вычисляли прибавку в росте.

В эксперименте по доращиванию березы пушистой в условиях теплицы участвовали 20 растений с закрытой корневой системой (ЗКС), высаженных в контейнеры П 9 объемом 500 см³. При этом, опытные растения удобряли путём внекорневой подкормки органическим удобрением одновременно с поливом. Изучали воздействие микроудобрений в концентрации, рекомендованной производителем (20 %). Внекорневая подкормка производилась путём опрыскивания из пульверизатора 1 раз в неделю (рис. 1).

Для исключения негативного влияния препарата микроудобрений на представителей полезной почвенной микрофлоры (PGPR, Plant Growth Promoting Rhizobacteria) изучали влияние биопрепарата на свободноживущие азотфиксаторы и diaзотрофы (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.,

Agrobacterium sp.), стимуляторы роста растений Plant Growth Promoting Rhizobacteria (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Изучаемые культуры были выделены из ризосферы культурных растений и хранятся в коллекции микроорганизмов лаборатории анализа ПЦР ВГЛТУ.

Определение влияния биопрепарата на представителей полезной почвенной микрофлоры оценивали методом колодцев, описанным в руководстве [20]. Для этого поверхность селективной питательной среды в чашках Петри засеивали соответствующей культурой микроорганизма. В центре чашки из агара вырезали колодцы (d = 6 мм), в которые вносили по 100 мкл испытуемого препарата. Чашки с посевами ставили в термостат при 280 °C на 4-5 суток. Степень ингибирования роста культур микроорганизмов оценивали по диаметру зоны с отсутствием роста вокруг колодцев.

Статистическую обработку проводили с использованием программы Statistica версии 12.6 («StatSoft, Inc.», США).

Таблица 1

НРК-анализ концентрированного экстракта морских водорослей

Table 1

NPK Analysis of Concentrated Seaweed Extract

Параметр Parameters	Статистика Stat	
	Среднее значение Mean	% по массе % by mass
Азот, мг/л Nitrogen, mg/L	155 ± 2	4
Фосфор, мг/л Phosphorus, mg/L	2739 ± 164	66
Калий, мг/л Potassium, mg/L	1268 ± 49	30

Примечание: Данные в таблице представляют собой анализ содержания N, P и K в одном контейнере за 20 дней. Среднее значение 5 образцов, за которым следует ± стандартное отклонение, представленное в столбце статистики. Процент по массе представляет собой массовую долю от общего количества основного содержания питательных веществ (НРК).

Note: The data presented are N,P and K content analysed from single container over a 20 days period. The mean of 5 samples follow by ± Standard Deviation is presented under stat column. The percentage by mass is the mass proportion of the total major nutrient content (NPK).

Источник: <https://www.seaweedseychelles.com/research-and-development> [дата обращения 21.09.23].

Source: <https://www.seaweedseychelles.com/research-and-development> [date accessed 09/21/23]



Рисунок 1. Обработка растений березы препаратом морских водорослей путем опрыскивания

Figure 1. Treatment of birch plants with a seawater preparation by spraying

Источник: собственная композиция автор(ов)

Source: author's composition

Результаты и обсуждение

В технологии *in vitro* микроудобрения из водорослей используются для выращивания растений в контролируемых условиях. Они обеспечивают растения необходимыми питательными веществами и могут стимулировать их рост и развитие. Микроудобрения содержат микро- и макроэлементы, такие как азот, фосфор, калий, магний, кальций, железо, марганец, медь, цинк, молибден и другие. Они способствуют улучшению качества и количе-

ства урожая, улучшают иммунитет растений и помогают им адаптироваться к различным условиям окружающей среды.

Влияние различных концентраций микроорганических удобрений на рост эксплантов березы исследовали в течение двух недель в условиях *in vitro*.

По окончании эксперимента были измерены морфометрические показатели у экспериментальных и контрольных растений (рис. 2, 3).



Рисунок 2. Внешний вид эксплантов березы на момент окончания эксперимента. К – контрольные образцы,

О – опытные образцы

Figure 2. Appearance of birch explants at the end of the experiment. К – control samples, О – experimental samples

Источник: собственная композиция автор(ов)

Source: author's composition

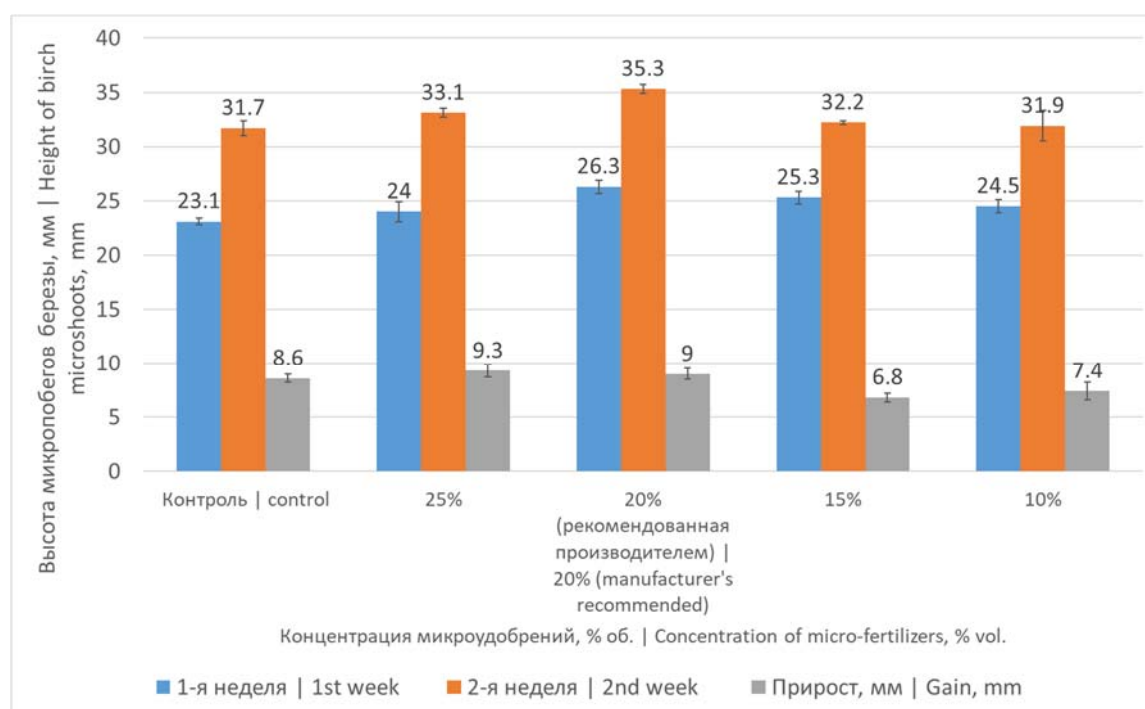


Рисунок 3. Использование микроудобрений на основе водорослей с Сейшельских островов в качестве добавки в составе питательной среды WPM для стадии мультипликации березы пушистой 15-1 (*Betula pubescens* Ehrh.) (n = 30, M±SEM; г. Воронеж, Воронежская обл., 2023 год)

Figure 3. Use of algae-based microfertilizers from the Seychelles as an additive in the WPM nutrient medium for the multiplication stage of downy birch 15-1 (*Betula pubescens* Ehrh.) (n = 30, M±SEM; Voronezh, Voronezh region, 2023 year)

Источник: собственная композиция автор(ов)

Source: author's composition

Включение в состав компонентов питательной среды WPM для процесса мультипликации микроудобрений на основе водорослей с Сейшельских островов позволяет сделать следующие заключения:

1. Применение микроудобрений в концентрации рекомендованной производителем 20 % и 25 % в течение двух недель приводило к ускорению ростовых процессов у опытных микрорастений березы по сравнению с контрольными растениями. При этом прирост опытных микрорастений составлял соответственно 9.0 и 9.3мм, тогда как у контроля он составлял 8,6 мм.

2. Исследование динамики ростовых процессов у опытных микрорастений березы

пушистой 15-1 с добавками в питательную среду микроудобрений с более низкими концентрациями 10 % и 15 % не позволило выявить положительного влияния.

Таким образом, для использования микроудобрений на основе водорослей в технологии клонального микроразмножения *in vitro* на стадии мультипликации рекомендуются применение концентрации 20 % и 25 %.

Влияние микроудобрений было также проанализировано на растениях, переведенных в условия закрытого грунта. После двух месяцев эксперимента оценивали параметры роста у растений, обработанных и необработанных микроудобрениями (рис. 3, табл. 3).



Рисунок 3. Внешний вид растений березы пушистой, переведенных в условия закрытого грунта, на момент окончания эксперимента: слева – контрольная группа, справа – опытная группа

Figure 3. Appearance of downy birch potted plants transferred to greenhouse conditions at the end of the experiment: on the left – control group, on the right – experimental group

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Таблица 3

Воздействие микроудобрений на основе водорослей с Сейшельских островов в качестве внекорневой подкормки при выращивании березы пушистой 15-1 с ЗКК (n = 30, M±SEM; Voronezh, Voronezh region, 2023)

Table 3

The impact of microfertilizers based on algae from the Seychelles as foliar feeding when growing downy birch 15-1 with a closed root system (n = 30, M±SEM; Voronezh, Voronezh region, 2023)

Вариант	Высота растения, мм			Прирост, мм
	на начало опыта, 25 апреля	26 июня	10 июля	
Контроль	1.96±0.18	18.1±2.12	36.8±3.43	34.8±3,04
Опыт (концентрация, рекомендованная производителем, 20%)		26.0±3.71	46.5±3.27	44.5±3,27

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Использование микроудобрений на основе водорослей с концентрацией, рекомендованной производителем 20 % для доращивания микрорастений березы пушистой 15-1 с закрытой корневой системой в условиях теплиц, позволило достоверно установить ускорение ростовых процессов у опытных растений. Так, высота саженцев березы пушистой у опытных растений к двум месяцам выращивания со-

ставляла 26.0±3.71 мм, что на 44 % превышает высоту контрольных растений. Подобная тенденция сохранялась до конца эксперимента (до 10 июля).

Прирост опытных растений березы за все время исследования составил 44.5 мм, тогда как у контрольных он ниже на 9.7 мм.

Для успешного внесения биопрепарата в агроценоз растений в качестве стимулятора

роста и развития важно учитывать, что он не должен нарушать гомеостаз сложившейся экосистемы. Это значит, что он не должен оказывать губительного воздействия на представителей полезной почвенной микрофлоры, так называемые PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria – ризобактерии, способствующие росту и развитию растений). Изучено действие биопрепарата на свободноживущие азотфиксаторы и диазотрофы, участвующие в фиксации атмосферного азота (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp.), стимуляторы роста растений (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Отсутствие зон ингибирования роста и развития изучаемых групп микроорганизмов свидетельствует о том, что биопрепарат не оказывал негативного воздействия на баланс основных эколого-трофических групп микробиоты, участвующей в обеспечении почвенного плодородия.

Таким образом, полученные результаты исследования по использованию микроудобрений на основе водорослей в качестве внекорневой подкормки при доращивании березы пушистой 15-1 позволяют сделать вывод о стимулирующем влиянии изученных микроудобрений на ростовые процессы изученных растений и отсутствии негативного влияния на представителей полезной почвенной микрофлоры, и рекомендовать их использование при

выращивании стандартного посадочного материала древесных растений, размноженных по технологии *in vitro*.

Заключение

Проведенные исследования по влиянию микроудобрений Seaweed Seychelles Liquid[®] показали положительный эффект их воздействия на древесные растения на примере березы пушистой. Стимуляция ростовых процессов наблюдалась как на стадии *in vitro* клонирования эксплантов, так и при адаптации растений к нестерильным условиям при выращивании в теплице. Степень воздействия органических удобрений на растения зависела от концентрации. Более низкие значения (10 и 15 %) не оказали значительного влияния на прирост *in vitro* клонов березы, в то время как концентрация, рекомендованная производителем (20 %), и 25 % содержания микроудобрений имели выраженный стимулирующий эффект. Полученные результаты по активации ростовых процессов березы пушистой и отсутствие ингибирования представителей полезной почвенной микрофлоры с использованием микроводорослей позволяют рекомендовать использование органических удобрений при культивировании древесных растений *in vitro* и при переводе в нестерильные условия теплицы. Концентрация, рекомендованная производителем, может быть использована при культивировании древесных растений.

Список литературы

1. Ghareeb R. Y., Shams El-Din N. G. E. D., Maghraby D. M. E., Ibrahim D. S., Abdel-Megeed A., Abdelsalam N. R. Nematicidal activity of seaweed-synthesized silver nanoparticles and extracts against *Meloidogyne incognita* on tomato plants. *Scientific reports*. 2022;12(1):3841. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06600-1>.
2. Farghali M., Mohamed I. M. A., Osman A.I., Rooney D. W. Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: a review. *Environ Chem Lett*. 2023;21:97. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01520-y>.
3. Grammenou A., Petropoulos S. A., Thalassinou G., Rinklebe J., Shaheen S. M., Antoniadis V. Biostimulants in the Soil-Plant Interface: Agro-environmental Implications—A Review. *Earth Syst Environ*. 2023;7:583. <https://doi.org/10.1007/s41748-023-00349-x>.

4. Ключкова Т. А., Климова А. В., Ключкова Н. Г. Перспективы использования камчатских ламинариевых водорослей в региональном растениеводстве. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2019;48: 90. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kamchatskih-laminariyevyh-vodorosley-v-regionalnom-rastenievodstve>.
5. Ren C. G., Liu Z. Y., Wang X. L., Qin S. The seaweed holobiont: from microecology to biotechnological applications. *Microbial Biotechnology*. 2022;15(3):738. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14014>.
6. Yalçın S., Şükran Okudan E., Karakaş Ö., Önem A. N., Sözgen Başkan K. Identification and quantification of some phytohormones in seaweeds using UPLC-MS/MS. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*. 2019;42(15-16):475. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2019.1625374>.
7. Agarwal P. K., Dangariya M., Agarwal P. Seaweed extracts: Potential biodegradable, environmentally friendly resources for regulating plant defence. *Algal Research*. 2021;58:102363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102363>.
8. Parab A., Shankhadarwar S. Growth enhancement of agricultural crops using seaweed liquid fertilizer. *Plant Science Today*. 2022;9(2):322. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.1439>.
9. Esserti S., Faize M., Rifai L. A., Smaili A., Belfaiza M., Faize L., Albuquerque N., Burgos L., Koussa T., Makroum K. Media derived from brown seaweeds *Cystoseira myriophylloides* and *Fucus spiralis* for *in vitro* plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2017;128: 437. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1121-3>.
10. Sumangala K., Srikrishnah S., Sutharsan S. Roses Growth and Flowering Responding to Concentration and Frequency of Seaweed (*Sargassum crassifolium* L.) Liquid Extract Application. *Current agriculture research journal*. 2019;7(2): 236. DOI: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.7.2.11>.
11. Pascual P. R. L., Carabio D. E., Abello N. F. H., Remedios E. A., Pascual V. U. Enhanced assimilation rate due to seaweed biostimulant improves growth and yield of rice bean (*Vigna umbellata*). *Agronomy research*. 2021;19(4):1863. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.21.106>.
12. Dookie M., Ali O., Ramsbhag A., Jayaraman J. Flowering gene regulation in tomato plants treated with brown seaweed extracts. *Scientia Horticulturae*. 2021;276:109715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109715>.
13. Loconsole D, Cristiano G, De Lucia B. Improving Aerial and Root Quality Traits of Two Landscaping Shrubs Stem Cuttings by Applying a Commercial Brown Seaweed Extract. *Horticulturae*. 2022;8(9):806. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090806>.
14. Ali O., Ramsbhag A., Jayaraman J. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. *Plants*. 2021;10(3):531. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030531>.
15. Mukherjee A., Patel J.S. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2020;17:553. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>.
16. Vicente TFL, Félix C, Félix R, Valentão P, Lemos MFL. Seaweed as a Natural Source against Phytopathogenic Bacteria. *Marine Drugs*. 2023; 21(1):23. <https://doi.org/10.3390/md21010023>.
17. Deolu-Ajayi A. O., Van der Meer I. M., Van der Werf A., Karlova R. The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*. 2022;45(9):2537. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14391>.
18. Do Rosário Rosa V., Dos Santos A. L. F., da Silva A. A., Sab M. P. V., Germino G. H., Cardoso F. B., de Almeida Silva M. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;158:228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.008>.
19. Grodetzkaya TA, Evlakov PM, Fedorova OA, Mikhin VI, Zakharova OV, Kolesnikov EA, Evtushenko NA, Gusev AA. Influence of Copper Oxide Nanoparticles on Gene Expression of Birch Clones *In Vitro* under Stress Caused by Phytopathogens. *Nanomaterials*. 2022;12(5):864. <https://doi.org/10.3390/nano12050864>.

20. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2014, 255 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/MLDLepImwueOH>.

References

1. Ghareeb R. Y., Shams El-Din N. G. E. D., Maghraby D. M. E., Ibrahim D. S., Abdel-Megeed A., Abdelsalam N. R. Nematicidal activity of seaweed-synthesized silver nanoparticles and extracts against *Meloidogyne incognita* on tomato plants. *Scientific reports*. 2022;12(1):3841. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06600-1>.
2. Farghali M., Mohamed I. M. A., Osman A.I., Rooney D. W. Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: a review. *Environ Chem Lett*. 2023;21:97. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01520-y>.
3. Grammenou A., Petropoulos S. A., Thalassinos G., Rinklebe J., Shaheen S. M., Antoniadis V. Biostimulants in the Soil–Plant Interface: Agro-environmental Implications—A Review. *Earth Syst Environ*. 2023;7:583. <https://doi.org/10.1007/s41748-023-00349-x>.
4. Klochkova T. A., Klimova A. V., Klochkova N. G. Prospects for the use of Kamchatka kelp algae in regional crop production. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2019;48:90. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kamchatskih-laminariyevyh-vodorosley-v-regionalnom-rastenievodstve>.
5. Ren C. G., Liu Z. Y., Wang X. L., Qin S. The seaweed holobiont: from microecology to biotechnological applications. *Microbial Biotechnology*. 2022;15(3):738. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14014>.
6. Yalçın S., Şükran Okudan E., Karakaş Ö., Önem A. N., Sözgen Başkan K. Identification and quantification of some phytohormones in seaweeds using UPLC-MS/MS. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*. 2019;42(15-16):475. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2019.1625374>.
7. Agarwal P. K., Dangariya M., Agarwal P. Seaweed extracts: Potential biodegradable, environmentally friendly resources for regulating plant defence. *Algal Research*. 2021;58:102363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102363>.
8. Parab A., Shankhadarwar S. Growth enhancement of agricultural crops using seaweed liquid fertilizer. *Plant Science Today*. 2022;9(2):322. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.1439>.
9. Esserti S., Faize M., Rifai L. A., Smaili A., Belfaiza M., Faize L., Albuquerque N., Burgos L., Koussa T., Makroum K. Media derived from brown seaweeds *Cystoseira myriophylloides* and *Fucus spiralis* for *in vitro* plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2017;128: 437. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1121-3>.
10. Sumangala K., Srikrishnah S., Sutharsan S. Roses Growth and Flowering Responding to Concentration and Frequency of Seaweed (*Sargassum crassifolium* L.) Liquid Extract Application. *Current agriculture research journal*. 2019;7(2): 236. DOI: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.7.2.11>.
11. Pascual P. R. L., Carabio D. E., Abello N. F. H., Remedios E. A., Pascual V. U. Enhanced assimilation rate due to seaweed biostimulant improves growth and yield of rice bean (*Vigna umbellata*). *Agronomy research*. 2021;19(4):1863. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.21.106>.
12. Dookie M., Ali O., Ramsuhag A., Jayaraman J. Flowering gene regulation in tomato plants treated with brown seaweed extracts. *Scientia Horticulturae*. 2021;276:109715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109715>.
13. Loconsole D, Cristiano G, De Lucia B. Improving Aerial and Root Quality Traits of Two Landscaping Shrubs Stem Cuttings by Applying a Commercial Brown Seaweed Extract. *Horticulturae*. 2022;8(9):806. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090806>.
14. Ali O., Ramsuhag A., Jayaraman J. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. *Plants*. 2021;10(3):531. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030531>

15. Mukherjee A., Patel J.S. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2020;17:553. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>.

16. Vicente TFL, Félix C, Félix R, Valentão P, Lemos MFL. Seaweed as a Natural Source against Phytopathogenic Bacteria. *Marine Drugs.* 2023; 21(1):23. <https://doi.org/10.3390/md21010023>.

17. Deolu-Ajayi A. O., Van der Meer I. M., Van der Werf A., Karlova R. The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress. *Plant, Cell & Environment.* 2022;45(9):2537. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14391>.

18. Do Rosário Rosa V., Dos Santos A. L. F., da Silva A. A., Sab M. P. V., Germino G. H., Cardoso F. B., de Almeida Silva M. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascomyces nodosum* (L.) seaweed extract. *Plant Physiology and Biochemistry.* 2021;158:228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.008>.

19. Grodet'skaya TA, Evlakov PM, Fedorova OA, Mikhin VI, Zakharova OV, Kolesnikov EA, Evtushenko NA, Gusev AA. Influence of Copper Oxide Nanoparticles on Gene Expression of Birch Clones *In Vitro* under Stress Caused by Phytopathogens. *Nanomaterials.* 2022;12(5):864. <https://doi.org/10.3390/nano12050864>.

20. Tepper E.Z., SHil'nikova V.K., Pereverzeva G.I. Praktikum po mikrobiologii. Moscow, Drofa, 2014, 255 p. (In Russ.). URL: <https://djvu.online/file/MLDLepImwueOH>.

Сведения об авторах

✉ *Евлаков Петр Михайлович* – кандидат биол. наук, заведующий лабораторией анализа ПЦР, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0138-2410>, e-mail: peter.evlakov@yandex.ru.

Робенсон Бернанд Порт-Луи – директор ООО «Морские водоросли Сейшельских островов»

Бенжамин Бернанд Порт-Луи – президент НКО «Развитие возможностей для молодежи на Сейшельских островах»

✉ *Гродецкая Татьяна Александровна* – научный сотрудник лаборатории анализа ПЦР, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5448-2792>, e-mail: tatyana.pokusina@yandex.ru.

Федорова Ольга Анатольевна – кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории анализа ПЦР, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7581-6141>, e-mail: fed-olga78@mail.ru.

Рыжкова Владлена Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории анализа ПЦР, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-9727-3088>, e-mail: vladlena.r11@yandex.ru.

Information about the authors

✉ *Peter M. Evlakov* – PhD, Head of the Laboratory of PCR analysis, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0138-2410>, e-mail: peter.evlakov@yandex.ru.

Robenson Bernard Port-Louis – Director of Seychelles Seaweed LLC

Benjamin Bernard Port-Louis – President of Youth non-profit organization “Youth Empowerment Seychelles”

✉ *Tatiana A. Grodetskaya* – Researcher of the Laboratory of Biotechnologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5448-2792>, e-mail: tatyana.pokusina@yandex.ru

Olga A. Fedorova – PhD, Researcher of the Laboratory of Biotechnologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7581-6141>, e-mail: fed-olga78@mail.ru

Vladlena S. Ryzhkova – Junior Researcher of the Laboratory of PCR analysis, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0138-2410>, e-mail: peter.evlakov@yandex.ru

✉ – *Для контактов/Corresponding author*