Секция 8.

Биотехнологии

УДК 579:582.26 Биотехнологии

Влияние спектрального состава света на скорость биосинтеза фукоксантина в накопительной культуре морской диатомеи *Cylindrotheca closterium*

Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*

Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г.

Svetlana N. Zheleznova, Ruslan G. Gevorgiz

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (Севастополь, Россия)

Облучённость 120 μE m^{-2} s^{-1} синим светом оптически плотной культуры (3 г сухой массы на литр) позволило увеличить скорость биосинтеза фукоксантина и липидов в клетках диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* при цикле 6 : 18 ч синий: белый свет. Концентрация фукоксантина достигла 23 мг/г сухой массы водорослей, в пересчёте на литр культуры 69 мг/л. Максимальная скорость накопления фукоксантина в клетках составила 4 мг/(г*сут) или соответственно в культуре – 12 мг/(л*сут). Скорость накопления фукоксантина была неравномерной, поэтому по-прежнему остается вопрос получения фукоксантина в проточной культуре *C. closterium.* Отмечена линейная зависимость между концентрацией фукоксантина в клетках и суммарных липидов.

Ключевые слова: диатомеи; *Cylindrotheca closterium*; синий свет; фукоксантин

Большинство бентосных диатомовых водорослей обитают в неблагоприятных условиях при низких температурах и низкой освещенности, где в основном преобладает синяя область спектра (освещенность со спектральным составом от 420-520 нм. (Wang et al., 2019) в результате чего они приобрели способность в больших количествах накапливать биологически активные соединения такие как ПНЖК (Almeyda et al., 2020), каротиноиды, включая фукоксантин и др.

Многие медицинские исследования показали уникальные свойства фукоксантина. Было показано, что фукокснатин обладает противоопухолевой активностью, подавляет рост клеток лейкоза человека, рака простаты и молочной железы (Ahmed et al., 2022), способствует активному уменьшению массы тела путем расщепления жиров (Guan et al., 2022), снижает уровень холестерина и глюкозы в крови (Guan et al., 2022). Поэтому диатомеи, как возобновляемый источник фукоксантина, все в большей мере привлекает внимание биотехнологов. Поскольку фукоксантин выполняет защитную функцию в работах было установлено, что синий свет способствует накоплению фукоксантина, а красный и белый – росту и продуктивности (Palanisamy et al., 2022). Для получения ценных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и фукоксантина в промышленных масштабах одним из наиболее

перспективных объектов культивирования является *Cylindrotheca closterium.* Обусловлено это тем, что *C. closterium* обладает достаточно высокими продукционными показателями (Геворгиз 2016; Железнова2019), способна накапливает фукоксантин до 2,3–2,6% от сухой массы (Zheleznova et al., 2017), а также характеризуется высоким (до 10% от сухой массы) содержанием ПНЖК в биомассе.

Цель работы – исследовать влияние синего света на скорость биосинтеза фукоксантина *Cylindrotheca closterium* в оптически плотной культуре (3 г сухой биомассы на литр).

В работе использовали культуру бентосной диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (EhrenbERG) Reimann et Lewin из коллекции культур ИнБЮМ. Культуру *C. closterium* выращивали на питательной среде RS, все компоненты которой увеличены в 3 раза (Железнова, 2015), при постоянной температуре суспензии 20±1°С, в режиме накопительного культивирования в фотобиореакторах плоскопараллельного типа с рабочим объёмом 2 л, слоем 5 см, при освещении белыми и синими светодиодными лампами при цикле 18:6 белый:синий свет. Средняя облучённость рабочей поверхности фотобиореактора составляла 150 μE m^{-2} s^{-1} (33 Вт*$м^{-2}$). В процессе выращивания культуру барботировали воздухом (1,1 л воздуха на 1 л культуры в минуту) посредством компрессорной установки. Для увеличения растворимости атмосферного CO_2 в культуральной среде использовали насадку-диспергатор. Плотность культуры в начале накопительного культивирования составляла 0,1–0,2 г сухого вещества на 1 л. Для стимуляции биосинтеза фукоксантина использовали чередование источников излучения белый: синий свет в соотношении 18 : 6. Интенсивность синего света составляла 120 μE m^{-2} s^{-1}.

По результатам наших экспериментов концентрация фукоксантина достигла 23 мг/г сухой массы водорослей, что в пересчёте на литр культуры составляло 69 мг/л. Максимальная скорость накопления фукоксантина в клетках составила 4 мг/(г*сут) или соответственно в культуре – 12 мг/(л*сут). Скорость накопления фукоксантина была неравномерной, поэтому по-прежнему остается вопрос получения фукоксантина в проточной культуре *C. closterium.* Отмечена линейная зависимость между концентрацией фукоксантина в клетках и суммарных липидов. А также накопление ПНЖК. Рассматривая механизм действия синего спектра излучения на накопление фукоксантина, можно отметить следующее: синий свет повышает экспрессию ключевых ферментов, участвующих в биосинтезе каротиноидов, таких как фитоен-синтаза и фитоен-десатураза. Кроме того, воздействие синего света вызывает у диатомей легкий окислительный стресс, который может быть вторичным триггером для накопления каротиноидов. Однако, чрезмерный окислительный стресс может быть губительным, контролируемое воздействие синего света стимулирует антиоксидантную защиту, что приводит к увеличению производства фукоксантина и других защитных пигментов (Song et al., 2025). Таким образом, активация фоторецепторов синим светом запускает каскад сигнальных событий, приводящих к усиленному синтезу фукоксантина через регуляцию транскрипции генов, пост трансляционные модификации и перестройку фотосинтетического аппарата. Таким образом, *C. closterium* зарекомендовала себя как перспективный источник фукоксантина. Понимание механизмов влияния синего света на биосинтез фукоксантина в клетках позволит разработать технологию получения фукоксантина на основе проточной интенсивной культуры.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ РАН «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ 124022400152-1).

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Зозуля Ю.В., Уваров И.П., Репков А.П., Лелеков А.С.* Промышленная технология производства биомассы морской диатомеи *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin с использованием газовихревого фотобиореактора // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2016. № 1-1. С. 73–77.

2. *Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г.***,** *Бобко Н.И., Лелеков А.С.* Питательная среда для интенсивной культуры диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin – перспективного объекта биотехнологий // Актуальная биотехнология. 2015. № 3(14). С. 46–48.

3. *Железнова С.Н.* Продукционные характеристики морской диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin в интенсивной культуре при различных источниках азота в питательной среде // Морской биологический журнал. 2019. Т.4, №1. С. 33–44. DOI: 10.21072/mbj.2019.04.1.04

4. *Almeyda M.D., Scodelaro Bilbao P.G., Popovich C.A., Constenla D., Leonardi P.I.* Enhancement of polyunsaturated fatty acid production under low-temperature stress in *Cylindrotheca closterium* // Journal of Applied Phycology. 2020. V.32. P. 989–1001. DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-020-02047-x

5. *Ahmed S.A., Mendonca P., Elhag R., Soliman K.F.A.* Anticancer effects of fucoxanthin through cell cycle arrest, apoptosis induction, angiogenesis inhibition, and autophagy modulation // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V.23, №24. P. 1–27. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms232416091

6. *Guan B., Chen K., Tong Z., Chen L., Chen Q., Su J.* Advances in fucoxanthin research for the prevention and treatment of inflammation-related diseases // Nutrients. 2022. V.14, № 22. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.3390/nu14224768

7. *Palanisamy K.M., Ab. Rahim M.H., Govindan N., Ramaraj R., Kuppusamy P., Maniam G.P.* Effect of blue light intensity and photoperiods on the growth of diatom *Thalassiosira pseudonana* // Bioresource Technology Reports. 2022. V.19, №9. P. 1–18. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101152

8. *Song Q., Liu C., Xu R., Cai L.* Enhancement of fucoxanthin accumulation in *Phaeodactylum tricornutum* by light quality and intensity shift strategy // Chemical Engineering Journal. 2025. V.505, №11. P. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.159388

9. *Wang S., Verma S.K., Said I.H., Thomsen L., Ullrich M.S., Kuhnert N.* Changes in the fucoxanthin production and protein profiles in *Cylindrotheca closterium* in response to blue light-emitting diode light // Microbial Cell Factories. 2018. V.17, № 110. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-018-0957-0.

10. *Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Nekhoroshev M.V.* Conditions optimization of the *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin cultivation in order to obtain a high yield of fucoxanthin // 3rd Russian Conference on Medicinal Chemistry (Kazan, 28 Sept. – 03 Oct., 2017): Abstr. book. – Kazan: Kazan Federal University, 2017. – P. 261.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Железнова Светлана Николаевна – к.б.н., с.н.с., ФИЦ «Институт Биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, Севастополь (Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Russia, Sevastopol), Отдел экологии бентоса; zheleznovasveta@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-1800-5902; SPIN-код 6678-0668.

Геворгиз Руслан Георгиевич – к.б.н., с.н.с., ФИЦ «Институт Биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, Севастополь (Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Russia, Sevastopol), Отдел экологии бентоса; r.gevorgiz@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-8017-5593; SPIN-код 5327-4101.

Корреспондентский адрес: Россия, 299011, Севастополь, пр. Нахимова, д. 2, ИнБЮМ РАН, тел. (8692)55-07-95.

Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*

Svetlana N. Zheleznova, Ruslan G. Gevorgiz

Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS (Russia, Sevastopol)

Irradiation with blue light at 120 μE $m^{-2} \cdot s^{-1}$ of an optically dense culture (3 g dry weight in litre) increased the rate of fucoxanthin and lipid biosynthesis in diatom *Cylindrotheca closterium*

under a 6 : 18 h blue:white light cycle. The fucoxanthin concentration reached 23 mg/g of dry weight, which is 69 mg/l per litre of culture. The maximum rate of fucoxanthin accumulation in cells was 4 mg/(g*day) or, respectively, 12 mg/(l*day) in culture. The rate of fucoxanthin accumulation was uneven, so the question of obtaining fucoxanthin in a flow *C. closterium* culture remains. A linear relationship was observed between the concentration of fucoxanthin in cells and total lipids.

Key words: Diatoms; *Cylindrotheca closterium*; blue light; fucoxanthin

References

1. Almeyda M.D., Scodelaro Bilbao P.G., Popovich C.A., Constenla D., Leonardi P.I. Enhancement of polyunsaturated fatty acid production under low-temperature stress in *Cylindrotheca closterium*. *Journal of Applied Phycology.* 2020. V.32. P. 989–1001. DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-020-02047-x

2. Ahmed S.A., Mendonca P., Elhag R., Soliman K.F.A. Anticancer effects of fucoxanthin through cell cycle arrest, apoptosis induction, angiogenesis inhibition, and autophagy modulation. *International Journal of Molecular Sciences.* 2022. V.23, №24. P. 1–27. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms232416091

3. Gevorgiz R.G., Zheleznova S.N., Zozulya Y.V., Uvarov I.P., Repkov A.P., Lelekov A.S. Industrial production technology biomass marine diatoms *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin using gas vortex photobioreactor. *Russian Journal of Biological Physics and Chemisrty.* 2016. № 1-1. P. 73–77. (In Russ.)

4. Guan B., Chen K., Tong Z., Chen L., Chen Q., Su J. Advances in fucoxanthin research for the prevention and treatment of inflammation-related diseases. *Nutrients.* 2022. V.14, № 22. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.3390/nu14224768

5. Palanisamy K.M., Ab. Rahim M.H., Govindan N., Ramaraj R., Kuppusamy P., Maniam G.P. Effect of blue light intensity and photoperiods on the growth of diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Bioresource Technology Reports.* 2022. V.19, №9. P. 1–18. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101152

6. Song Q., Liu C., Xu R., Cai L. Enhancement of fucoxanthin accumulation in *Phaeodactylum tricornutum* by light quality and intensity shift strategy. *Chemical Engineering Journal.* 2025. V.505, №11. P. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.159388

7. Wang S., Verma S.K., Said I.H., Thomsen L., Ullrich M.S., Kuhnert N. Changes in the fucoxanthin production and protein profiles in *Cylindrotheca closterium* in response to blue light-emitting diode light. *Microbial Cell Factories.* 2018. V.17, № 110. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-018-0957-0

8. Zheleznova S.N. Production characteristics of the diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin grown in an intensive culture at various nitrogen sources in the medium. *Marine Biological Journal.* 2019. V.4, №1. P. 33–44. DOI: https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.04 (In Russ.)

9. Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Bobko N.I., Lelekov A.S. Culture medium for the intensive culture of of diatomic alga *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann Et Lewin – promising biotech facility. *Topical biotechnology.* 2015. № 3(14). P. 46–48. (In Russ.)

10. Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Nekhoroshev M.V. Conditions optimization of the *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin cultivation in order to obtain a high yield of fucoxanthin. Proceedings of 3rd Russian Conference on Medicinal Chemistry (Kazan, 28 Sept. – 03 Oct., 2017). Kazan Federal University, Kazan, 2017. P. 261.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г. Влияние спектрального состава света на скорость биосинтеза фукоксантина в накопительной культуре морской диатомеи *Cylindrotheca closterium* // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 369–372. URL: http://algology.ru/2225

Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G. Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 369–372. URL: http://algology.ru/2225

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-369-372; EDN – ZLVJNG

УДК 581.19:582.261.56:582.263 *Биотехнологии*

Сравнительный анализ биотехнологического потенциала отдельных представителей диатомовых и зелёных водорослей

Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives

Кочубей А.В.[1], Яковийчук А.В.[1], Мальцева И.А.[1], Мальцев Е.И.[2]

Angelika V. Kochubey, Alexandr V. Yakoviichuk, Iryna A. Maltseva, Yevhen I. Maltsev

[1]Мелитопольский государственный университет (Мелитополь, Россия)
[2]Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН (Москва, Россия)

В работе проведена сравнительная характеристика биотехнологического потенциала морского штамма из класса Bacillariophyceae svn544 *Navicula salinicola* и почвенного штамма CAMU MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* из Chlorophyta. Установлено, что штамм CAMU MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* обладает большим биотехнологическим потенциалом. Он накаливает более высокие концентрации ценных метаболитов и обладает большей антиоксидантной устойчивостью относительно штамма svn544 *Navicula salinicola*.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; витамин А; витамин Е; каротиноиды; липиды; жирные кислоты

Глобальная тенденция развития экономики и общества смещается в сторону построения более экологичного и устойчивого общества для борьбы с проблемами изменения климата и сохранения здоровья (Sharma et al., 2021). В связи с этим разработка и внедрение природоподобных технологий в биотехнологические производства приобретает все более широкое распространение. В Российской Федерации развитие данной отрасли производства утверждено и конкретизировано в пункте 21 пп и Указа Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Среди организмов, которые востребованы для производства фармацевтических препаратов, нутрицевтиков и продуктов питания, все чаще рассматривают микроводоросли (Khatoon, Pal, 2015; Олескин, Цао, 2022). Микроводоросли являются богатым источником таких биотехнологически ценных соединений, как белки, липиды, витамины, пигменты, жирные кислоты, аминокислоты и др. Состав метаболитов с присущими им специфическими полезными свойствами отличается у различных таксономических групп микроводорослей (Олескин, Цао, 2022). Среди биотехнологически ценных видов часто указываются виды диатомовых и зеленых

микроводорослей (Baldisserotto et al., 2019, Thoré et al., 2023). В числе биотехнологически ценных известны виды *Bracteacoccus* Tereg (Lukavský et al., 2023) и *Navicula* Bory (Михайлова и др., 2023).

Цель работы – провести сравнительную характеристику биотехнологического потенциала *Navicula salinicola* Hustedt (штамм svn544) и *Bracteacoccus minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová (штамм CAMU MZ–Ch39).

Культивирование морского штамма *Navicula salinicola* svn544 проводили на среде ESAW, а почвенного *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 – на среде BBM. Изучали следующие биохимические показатели: содержание хлорофиллов, каротиноидов, липидов, витаминов А, Е, состав жирных кислот. Антиоксидантную устойчивость оценивали по коэффициенту антиоксидантной активности (K_{AAC}) (Maltseva et al., 2024). Исследования осуществляли при достижении культурами стационарной фазы роста на 18 день. Культуры выращивали в колбах Эрленмейера при стандартном освещении 5000 лк.

В ходе исследования установлены различия в биотехнологическом потенциале как с точки зрения устойчивости штаммов к воздействию возможного стрессора, так и по составу отдельных ценных метаболитов. Анализ значений коэффициента антиоксидантной активности (K_{AAC}) и соотношения каротиноиды/хлорофилл *a* свидетельствует, что *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 характеризуется более высокой антиоксидантной устойчивостью и метаболическим потенциалом, чем *Navicula salinicola* svn544.

Биомасса *Navicula salinicola* svn544 на 18 день культивирования составляла 1,47 г/л, что на 11,4% выше, чем у *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39. Штаммы с высокой скоростью роста считаются более предпочтительными биотехнологическими объектами при условии достаточной продуктивности по целевому продукту. Однако в данном случае при меньшем накоплении биомассы содержание ценных метаболитов у *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 было выше.

Для штамма *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 характерно повышенное относительно *Navicula salinicola* svn544 содержание витамина А, каротиноидов и липидов при сопоставимом содержании витамина Е. В частности, содержание ретинола выше в 6,2 раза, каротиноидов – в 1,9 раз, липидов – в 5,9 раз. При этом жирнокислотный состав липидов значительно отличался. В липидах *Navicula salinicola* svn544установлено пониженное в 2,95 и 28,54 раза содержание омега-3 и омега-6 относительно *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39. Хотя в составе липидов *Navicula salinicola* svn544 идентифицирован ряд полиненасыщенных жирных кислот, среди которых: 22:6n-3 (1,2% от общего количества жирных кислот), 20:5n-3 (5,3%), 18:4n-3 (1,5%). В липидах *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 такие кислоты отсутствуют, а из ненасыщенных преобладают моно-, ди- и триеновые кислоты: 18:1n-9 (12,24% от общего количества жирных кислот), 18:3n-3 (31,04%) и 18:2n-6 (27,06%).

Биомасса *Navicula salinicola* svn544 содержит 84,2 мг/л липидов, а также ценные полиненасыщенные жирные кислоты, что делает её ценным объектом кормовой базы гидробионтов. *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 продуцирует более высокие количества липидов (499,2 мг/л) и жирные кислоты, обладающие специфической биологической активностью, что может быть востребовано, например, при производстве кормовых добавок.

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Михайлова Е.В., Попов С.С., Бредихина Т.А.* Диатомовые водоросли рода *Navicula*: потенциальное высокопродуктивное сырье для фармацевтической промышленности // Прикладные

информационные аспекты медицины. 2023. Т. 26. №4. С. 103–114. URL: https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/9323. DOI: https://doi.org/10.18499/2070-9277-2023-26-4-%25p

2. *Олескин А.В., Цао Б.* Микроводоросли как биотехнологические объекты // Вопросы современной альгологии. 2022. №3 (30). С. 1–23. DOI: https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3(30)-1-23

3. *Baldisserotto C., Sabia A., Ferroni L., Pancaldi S.* Biological aspects and biotechnological potential of marine diatoms in relation to different light regimens // World journal of microbiology & biotechnology. 2019. Vol. 35, Iss. 2. ID 35. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-019-2607-z

4. *Khatoon N., Pal R.* Microalgae in biotechnological application: a commercial approach // Bahadur B., Venkat Rajam M., Sahijram L., Krishnamurthy K. (ed.). Plant Biology and Biotechnology. – New Delhi: Springer, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2283-5_2

5. *Lukavský J., Kopecký J., Kubáč D., Kvíderová J., Procházková L., Řezanka T.* The alga Bracteacoccus bullatus (Chlorophyceae) isolated from snow, as a source of oil comprising essential unsaturated fatty acids and carotenoids // J Appl Phycol. 2023. V.35. P. 649–660. DOI: https://doi.org.10.1007/s10811-023-02916-1

6. *Maltseva I., Yakoviichuk A., Maltseva S., Cherkashina S., Kulikovskiy M., Maltsev Y.* Biochemical and antioxidant characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae, Chlorophyta) under various cultivation conditions // Plants. 2024. V.13. ID 2413. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13172413

7. *Sharma N., Simon D.P., Diaz-Garza A.M., Fantino E., Messaabi A., Meddeb-Mouelhi F., Germain H, Desgagné-Penix I.* Diatoms biotechnology: various industrial applications for a greener tomorrow // Frontiers in Marine Science. 2021. V.8. ID 636613. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2021.636613

8. *Thoré E.S.J., Muylaert K., Bertram M.G., Brodin T.* Microalgae // Current Biology. 2023. V.33, Is.3. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Кочубей Анжелика Владимировна – ст. преподаватель, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. биологии и биологического образования; KochubeyA92@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0009-0004-8040-4167; SPIN-код 4166-6049.

Яковийчук Александр Владимирович – к.б.н., доцент, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. химии и химического образования; alex.yakov1991@gmail.com; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4667-3684; SPIN-код 9767-0220.

Мальцева Ирина Андреевна – д.б.н., профессор, декан факультета естественных наук, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol); maltseva-irina22@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-7517-529X; SPIN-код 9417-0058.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., доцент, в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4710-319X; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives

Angelika V. Kochubey[1], Alexandr V. Yakoviichuk[1,2], Iryna A. Maltseva[1], Yevhen I. Maltsev[2]

[1]Melitopol State University (Russia, Melitopol)
[2]Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

A comparative characteristic of the biotechnological potential of the marine strain from the class Bacillariophyceae svn544 *Navicula salinicola* and the soil strain CAMU MZ–Ch39

Bracteacoccus minor from Chlorophyta was carried out. The MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* strain has great biotechnological potential. It accumulates higher concentrations of valuable metabolites and has greater antioxidant resistance relative to the svn544 *Navicula salinicola* strain.

Key words: antioxidant activity; vitamins; vitamin E; carotenoids; lipids; fatty acids

References

1. Baldisserotto C., Sabia A., Ferroni L., Pancaldi S. Biological aspects and biotechnological potential of marine diatoms in relation to different light regimens. *World journal of microbiology & biotechnology.* 2019. Vol. 35, Iss. 2. P. 35. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-019-2607-z

2. Khatoon N., Pal R. Microalgae in biotechnological application: a commercial approach. *In:* Bahadur B., Venkat Rajam M., Sahijram L., Krishnamurthy K. (Eds.). Plant Biology and Biotechnology. Springer, New Delhi, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2283-5_2

3. Lukavský J., Kopecký J., Kubáč D., Kvíderová J., Procházková L., Řezanka T. The alga Bracteacoccus bullatus (Chlorophyceae) isolated from snow, as a source of oil comprising essential unsaturated fatty acids and carotenoids. *J Appl Phycol.* 2023. V.35. P. 649 – 660. DOI: https://doi.org.10.1007/s10811-023-02916-1

4. Maltseva I., Yakoviichuk A., Maltseva S., Cherkashina S., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Biochemical and antioxidant characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae, Chlorophyta) under various cultivation conditions. *Plants.* 2024. V.13. ID 2413. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13172413

5. Mikhaylova E.V., Popov S.S., Bredikhina T.A. Diatom algae of the genus *Navicula* –a potential highly productive raw material for the pharmaceutical industry. *Applied Information Aspects of Medicine.* 2023. V. 26. № 4. P. 103–114. URL: https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/9323. DOI: https://doi.org/10.18499/2070-9277-2023-26-4-%25p (In Russ.)

6. Oleskin A.V., Cao Boyang. Microalgae in terms of modern-day biotechnology. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology).* 2022. № 3 (30). P. 1–23. URL: http://algology.ru/1839. DOI: https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3(30)-1-23 (In Russ.)

7. Sharma N., Simon D.P., Diaz-Garza A.M., Fantino E., Messaabi A., Meddeb-Mouelhi F., Germain H, Desgagné-Penix I. Diatoms biotechnology: various industrial applications for a greener tomorrow. *Frontiers in Marine Science.* 2021. V.8. ID 636613. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2021.636613

8. Thoré E.S.J., Muylaert K., Bertram M.G., Brodin T. Microalgae. *Current Biology.* 2023. V.33, Is.3. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кочубей А.В., Яковийчук А.В., Мальцева И.А., Мальцев Е.И. Сравнительный анализ биотехнологического потенциала отдельных представителей диатомовых и зелёных водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 373–376. URL: http://algology.ru/2226

Kochubey A.V., Yakoviichuk A.V., Maltseva I.A., Maltsev Y.I. Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 373–376 URL: http://algology.ru/2226

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-373-376; EDN – XFCJXB

УДК 561.26:612.397.23 Биотехнологии

Особенности профилей жирных кислот морских диатомовых водорослей

Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms

Кривова З.В., Кезля Е.М., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.

Zinaida V. Krivova, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН (Москва, Россия)

Диатомовые водоросли считаются одной из самых разнообразных и широко распространённых групп микроводорослей. Несмотря на это количество работ посвящённых исследованию их жирнокислотного состава невелико. Текущая работа направлена на изучение профилей жирных кислот морских штаммов рода *Psammodictyon*. Штаммы были выделены из Южно-Китайского моря (Вьетнам). В ходе работы установлено, что доминантными для исследуемых объектов являются насыщенные пальмитиновая и стеариновая, также отмечены омега-3 полиненасыщенные эйкозапентаеновая и докозагексаеновая жирные кислоты.

Ключевые слова: *Psammodictyon*; Вьетнам; диатомовые водоросли; жирные кислоты

Диатомовые водоросли способны вырабатывать в среднем около 25% липидов от сухого веса (Elfituri et al., 2024), что делает их привлекательным объектом для изучения в области биотехнологических исследований. Для большинства видов *Psammodictyon* состав жирных кислот общих липидов неизвестен. В литературных источниках есть данные о профиле жирных кислот морского штамма *MACC 35 P. panduriforme* (W.Gregory) D.G.Mann, выделенного на западном побережье Индии. Для него отмечены насыщенные пальмитиновая, миристиновая, арахиновая и стеариновая кислоты и мононенасыщенная олеиновая (Krishnaswami et al., 2024).

Материалом для данной работы послужили штаммы *Psammodictyon*, выделенные из проб эпилитона и образцов песка, отобранных в прибрежной части Южно-Китайского моря (Вьетнам) в 2024 году. Изоляция отдельных клеток проводилась с помощью микропипетки под световым инвертированным микроскопом Zeiss AxioScope A1 (Германия) с очищением каждой клетки в нескольких каплях дистиллированной воды. Альгологически чистые монокультуры водорослей содержались в жидкой среде ESAW (Polyakova et al., 2018) в чашках Петри (90 мм) при 25°C и постоянном освещении 100 мкмоль фотонов $м^{-2}·с^{-1}$. Таксономическое положение штаммов определяли с помощью анализа морфологии и молекулярно-генетических исследований. Выделение ДНК из диатомовых водорослей проводили набором InstaGene Matrix (BIORAD, США) в соответствии с протоколом производителя. Последовательности, кодирующие баркодинговый регион V4 гена

18S рРНК (390–410 н.), были амплифицированы с использованием праймеров D512 и D978 (Zimmermann et al., 2015). Последовательности, кодирующие хлоропластный ген *rbc*L, были амплифицированы с помощью праймеров *rbc*L40+ (Ruck et al., 2011) и *rbc*L1444 (Alverson et al., 2007). Для получения жирнокислотных профилей использовался метод экстрагирования метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) с помощью гексана. Состав МЭЖК определяли с использованием ГХ-МС (газовая хроматография/масс-спектрометрия) на приборе Agilent 7890A GC (Agilent Technologies, Inc., США) с 60-м капиллярной колонкой DB-23 с внутренним диаметром 0,25 мм. Штаммы были проанализированы после достижения стационарной фазы роста.

В работе сравнивали профили жирных кислот трёх морских штаммов: *Psammodictyon* sp. SVN 776, *Psammodictyon* sp. SVN 830, *Psammodictyon* sp. SVN 839. Для исследуемых штаммов показано, что доминантными жирными кислотами являются насыщенные пальмитиновая (52,01%; 49,28%; 55,24%) и стеариновая (37,06%; 37,03%; 35,68%) жирные кислоты. Также все штаммы накапливают невысокий процент полиненасыщенной длинноцепочечной омега-3 эйкозапентаеновой (6,25%; 10,86%; 6,19%) и докозагексаеновой (2,27%; 0,28%; 1,49%) и мононенасыщенной пальмитолеиновой (2,4%; 2,55%; 1,4%) кислот. Штаммы накапливают высокие концентрации насыщенных жирных кислот и практически не запасают мононенасыщенные и полиненасыщенные. Следовательно, при дальнейшем изучении данных штаммов стоит делать акцент на их практическом применении в качестве продуцентов насыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, https://rscf.ru/project/23-74-10081/).

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Alverson A.J., Jansen R.K., Theriot E.C.* Bridging the Rubicon: phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms // Molecular phylogenetics and evolution. 2007. V. 45, № 1. P. 193–210. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024.

2. *Elfituri A. M., Rahman M. A., Yusoff F. M., Banerjee S., Dalhum E.* Growth Rate, Lipid and Fatty Acids Content in Some Marine and Freshwater Diatoms // Journal of King Abdulaziz University: Marine Sciences. 2024. V. 34, №. 2. DOI:10.4197/Mar.34-2.5

3. *Krishnaswami I., Sabu S., Singh I. B., Joseph V.* Marine benthic diatom *Psammodictyon panduriforme* (MACC 35) as a potent producer of long chain hydrocarbons and fatty acids of biofuel significance // Algal Research. 2024. V. 79. ID 103492. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103492

4. *Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A.* Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms // Marine Biological Journal. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06

5. *Ruck E.C., Theriot E.C.* Origin and evolution of the canal raphe system in diatoms // Protist. 2011. V.162, №5. P. 723–737. DOI: https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.02.003.

6. *Zimmermann J., Glöckner G., Jahn R., Enke N., Gemeinholzer B.* Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies // Molecular ecology resources. 2015. V.15, №3. P. 526–542. DOI: https://doi.org/10.1111/1755-0998.12336

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapeya@mail.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-9928-4810; SPIN-код 3675-3153.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-5263-9338; SPIN-код 3196-8240.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-0999-9669; SPIN-код 4170-2884.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4710-319X; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms

Zinaida V. Krivova, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

Diatoms are considered one of the most diverse and widespread groups of microalgae. Despite this, the number of studies devoted to the study of their fatty acid composition is not big. The current work is aimed at studying the fatty acid profiles of marine strains of the genus *Psammodictyon*. The strains were isolated from South China Sea (Vietnam). In the course of the work, it was found that saturated palmitic and stearic acid are dominant for the studied objects, and omega-3 polyunsaturated eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acids are also noted.

Key words: *Psammodictyon*; Vietnam; diatoms; fatty acids

References

1. Alverson A.J., Jansen R.K., Theriot E.C. Bridging the Rubicon: phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms. *Molecular phylogenetics and evolution.* 2007. V. 45, № 1. P. 193–210. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024.

2. Elfituri A. M., Rahman M. A., Yusoff F. M., Banerjee S., Dalhum E. Growth Rate, Lipid and Fatty Acids Content in Some Marine and Freshwater Diatoms. *Journal of King Abdulaziz University: Marine Sciences.* 2024. V. 34, №. 2. DOI:10.4197/Mar.34-2.5

3. Krishnaswami I., Sabu S., Singh I. B., Joseph V. Marine benthic diatom *Psammodictyon panduriforme* (MACC 35) as a potent producer of long chain hydrocarbons and fatty acids of biofuel significance. *Algal Research.* 2024. V. 79. ID 103492. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103492

4. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. *Marine Biological Journal.* 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06

5. Ruck E.C., Theriot E.C. Origin and evolution of the canal raphe system in diatoms. *Protist.* 2011. V.162, №5. P. 723–737. DOI: https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.02.003.

6. Zimmermann J., Glöckner G., Jahn R., Enke N., Gemeinholzer B. Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies. *Molecular ecology resources.* 2015. V.15, №3. P. 526–542. DOI: https://doi.org/10.1111/1755-0998.12336

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кривова З.В., Кезля Е.М., Куликовский М.С., Мальцев Е.И. Особенности профилей жирных кислот морских диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 377–379. URL: http://algology.ru/2227

Krivova Z.V., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S., Maltsev Y.I. Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 377–379. URL: http://algology.ru/2227

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-377-379; EDN – CWWLRT

УДК 577.115.3 *Биотехнологии*

Мультиомиксные аспекты поиска биотехнологически ценных штаммов диатомовых водорослей

Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains

Мальцев Е.И.[1], Кривова З.В.[1], Яковийчук А.В.[1,2], Мальцева С.Ю.[1]

Yevhen I. Maltsev, Zinaida V. Krivova, Alexandr V. Yakoviichuk, Svetlana Yu. Maltseva

[1]Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН (Москва, Россия)
[2]Мелитопольский государственный университет (Мелитополь, Россия)

Использование мультиомиксного подхода для оценки биотехнологического потенциала микроводорослей представлено на примере диатомовых водорослей *Nitzschia pusilla* и *Navicula salinicola*. С помощью метода главных компонент изучено изменение содержания липидов, антиоксидантов, хлорофилла, липидов и жирных кислот в зависимости от концентрации азота и фосфора в среде культивирования. Установлено, что штамм *Nitzschia pusilla* mns105 характеризуется высоким содержанием ретинола и омега-3 жирных кислот, что делает его биомассу перспективным сырьем для фармацевтики и пищевой индустрии. В то же время штамм *Navicula salinicola* svn532 отличается повышенным уровнем накопления каротиноидов и α-токоферола, что представляет интерес для разработки технологий его промышленного культивирования в интересах агробиотехнологии.

Ключевые слова: биотехнология; водоросли; метод главных компонент; метаболом

Углубленное изучение различных аспектов строения и функционирования живых организмов и накопление большого массива данных закономерно требует и их интеграции, построения новых целостных представлений о биологических системах различного уровня, синтеза традиционных и новых методов и идей, особенно для решения глобальных задач, таких как обеспечение высококачественным и экологичным продовольствием населения, используя ресурсный потенциал различных групп живых организмов, в том числе микроводорослей. Новая область научных знаний сегодня формируется с помощью омиксных технологий. Они позволяют осуществлять широкомасштабный анализ биологических систем на различных уровнях и являются новой ступенью к пониманию основ их функционирования. Данные, полученные с помощью анализа мультиомиксных аспектов (филогенетических, экологических, географических, биохимических, транзиентных), представляют высокую ценность для характеристики сложных механизмов регуляции метаболизма микроводорослей, разработки новых стратегий перенаправления метаболических путей определенных штаммов микроводорослей с целью накопления ценных для биотехнологического использования соединений.

В ходе эксперимента с градиентом изменений концентраций азота и фосфора (Maltsev et al., 2023) в питательной среде ESAW (Полякова и др., 2018) проанализированы изменения ключевых характеристик метаболома (содержание липидов, хлорофиллов и их предшественников, каротиноидов, α-токоферола, ретинола, белка и состава жирных кислот) и активности антиоксидантной системы солоноводных штаммов *Nitzschia pusilla* Grunow и морских штаммов *Navicula salinicola* Hustedt.

Среди штаммов *Nitzschia pusilla* наивысшая антиоксидантная устойчивость установлена для mns105, а наименьшая для mns7. Основной вклад в формирование антиоксидантного ответа для *Nitzschia pusilla* вносил ретинол, а остальные компоненты антиоксидантной защиты формировали его в меньшей мере. В связи с этим антиоксидантная активность *Nitzschia pusilla* mns105 была минимальной при повышенном содержании каротиноидов, α-токоферола, высокой активности ферментов антиоксидантной защиты, но при пониженной концентрации ретинола. Применение питательного стресса для штаммов *Nitzschia pusilla* приводило к увеличению накопления ретинола у штамма mns105. Кроме того, для mns105 установлена повышенная ненасыщенность жирных кислот, обусловленная в первую очередь содержанием омега-3. Это делает штамм mns105 перспективным продуцентом данных биопродуктов. Штамм *Nitzschia pusilla* mns7 характеризовался интенсивным накопление каротиноидов, при этом биотехнологический потенциал штамма был выше по сравнению с mns105, что подтверждалось высоким содержанием хлорофиллов.

Для штаммов *Navicula salinicola* высокая антиоксидантная устойчивость зафиксирована для svn532 при достоверно не отличающейся ненасыщенности жирных кислот по сравнению с svn544. Для данной пары штаммов отмечен определяющий вклад в формирование антиоксидантной устойчивости ретинола и ферментов антиоксидантной защиты, показатели которых у штаммов были на близком уровне. Однако для *Navicula salinicola* svn532 весомый вклад также вносили каротиноиды и α-токоферол, на фоне повышенных концентраций которых установлена высокая антиоксидантная активность. С точки зрения биотехнологического потенциала штамм svn532 более ценен, на что указывало повышенное содержание хлорофиллов, а характер формирования антиоксидантного ответа в условиях накопительной культуры позволяет использовать его в качестве источника каротиноидов и α-токоферола.

С помощью метода главных компонент были исследованы зависимости между накоплением липидов и липидной продуктивностью штаммов *Nitzschia pusilla*, *Navicula salinicola* и количеством азота в среде культивирования, интенсивностью света, продолжительностью культивирования, содержанием фосфора и соотношением N:P. Визуализация исследованных наблюдений в проекционном пространстве главных компонент с одновременным нанесением векторов различных переменных показала, что исследованные штаммы диатомовых водорослей были расположены преимущественно вдоль векторов содержания азота и фосфора и, соответственно наиболее отличаются между собой по реакции на доступность их в среде культивирования. При этом содержание липидов у исследованных штаммов достигало 39,8%, а липидная продуктивность – 55 мг/л×день. Эти максимумы наблюдались при содержании азота 0,025-0,247 г/л и фосфора – 0,0003 г/л.

В целом, для изученных штаммов установлена высокая специфичность антиоксидантной активности, что детерминировано экологическими факторами природных условий обитания и специфическими характеристиками штаммов. Для дальнейшего использования в биотехнологических целях с высокой вероятностью найдет применение биомасса штамма *Navicula salinicola* svn532 для одновременного получения α-токоферола и каротиноидов, а также *Nitzschia pusilla* mns105 в качестве продуцента ретинола и полиненасыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, https://rscf.ru/project/23-74-10081/).

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S.* Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. V.22. ID 239. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6

2. *Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A.* Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms // Marine Biological Journal. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., доцент, в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4710-319X; SPIN-код 9410-6478.

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapeya@mail.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-9928-4810; SPIN-код 3675-3153.

Яковийчук Александр Владимирович – к.б.н., м.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); доцент, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. химии и химического образования; alex.yakov1991@gmail.com; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4667-3684; SPIN-код 9767-0220.

Мальцева Светлана Юрьевна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); svetadm32@gmail.com; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-6060-3968; SPIN-код 3709-5940.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains

Yevhen I. Maltsev[1], Zinaida V. Krivova[1], Alexandr V. Yakoviichuk[1,2], Svetlana Yu. Maltseva[1]

[1]Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)
[2]Melitopol State University (Russia, Melitopol)

The use of a multi-omics approach to assess the biotechnological potential of microalgae is presented using the diatoms *Nitzschia pusilla* and *Navicula salinicola* as an example. The principal component analysis was used to study changes in the content of lipids, antioxidants, chlorophyll, lipids, and fatty acids depending on the concentration of nitrogen and phosphorus in the culture medium. It was found that the *Nitzschia pusilla* mns105 strain is characterised by a high content of retinol and omega-3 fatty acids, which makes its biomass a promising raw material for pharmaceuticals and the food industry. At the same time, the *Navicula salinicola* svn532 strain is characterised by an increased level of accumulation of carotenoids and α-tocopherol, which is of

interest for the development of technologies for its industrial cultivation in the interests of agrobiotechnology.

Key words: biotechnology; algae; principal component analysis; metabolome

References

1. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae. *Microbial Cell Factories.* 2023. V.22. ID 239. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6

2. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. *Marine Biological Journal.* 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Мальцев Е.И., Кривова З.В., Яковийчук А.В., Мальцева С.Ю. Мультиомиксные аспекты поиска биотехнологически ценных штаммов диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 380–383. URL: http://algology.ru/2228

Maltsev Y.I., Krivova Z.V., Yakoviichuk A.V., Maltseva S.Y. Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 380–383. URL: http://algology.ru/2228

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-380-383; EDN – HODYZX

УДК 582.26 (58.036.5) *Биотехнологии*

Криоконсервация диатомовой водоросли *Melosira* sp.

Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophta)

Маркина Ж.В., Борода А.В.

Zhanna V. Markina, Andrei V. Boroda

Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Интерес к криоконсервации микроводорослей актуален более 60 лет, однако разработать универсальный протокол для замораживания-оттаивания невозможно и его подбирают эмпирически. Мы провели успешную криоконсервацию диатомовой водоросли *Melosira* sp. в присутствии 5% диметилсульфоксида и 2% поливинилпирролидона ступенчатым режимом замораживания. Диметилсульфоксид оказался более эффективным, позволяя сохранять большее количество клеток и их пролиферативный потенциал после оттаивания.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Melosira* sp.; криоконсервация; криопротекторы

Интерес к криоконсервации одноклеточных водорослей возник с 1960-х годов и данная тема остается актуальной до сих пор. Разработка универсального протокола для криоконсервации невозможна из-за недостаточного понимания всех механизмов повреждения клеток в процессах замораживания и оттаивания, а также из-за значительных морфологических и биохимических отличий между микроводорослями (Abreu et al., 2012). Морские виды микроводорослей, особенно образующие многоклеточные скопления, имеющие крупные клетки и вакуоли являются сложными для криосохранения. Цель настоящей работы заключалась в разработке способа криоконсервации водоросли *Melosira* sp. (Bacillariophyta) и оценке скорости её восстановления после криоконсервации.

Материалы и методы. Культура диатомовой водоросли *Melosira* sp. была выделена Ж.В. Маркиной и А.В. Бородой из пробы морской воды, отобранной на выходе из р. Армань (Амахтонский залив, Охотское море) в июле 2023 г. Генетическое определение водоросли проведено К.В. Ефимовой. Клетки культивировали в среде *f* (Guillard, Ryther, 1962) при 18°C с периодическим встряхиванием, освещением люминесцентными лампами белого света с интенсивностью 70 мкмоль фотонов/($м^2$×с) (3500 люкс) и свето-темновым периодом 12 ч свет **:** 12 ч темнота до конца логарифмической фазы роста (9 сут), после чего проводили криоконсервацию. Концентрацию клеток определяли с помощью прямого визуального подсчета под световым инвертированным микроскопом Axiovert-200M (Carl Zeiss, Германия) с использованием камеры Нажотта. Клетки без видимого плазмолиза и с интактными оболочками и хлоропластами считали живыми.

Микроводоросли замораживали до температуры жидкого азота (-196°C) в присутствии диметилсульфоксида (ДМСО), как классического проникающего внутрь

клетки криопротектора, и поливинилпирролидона (ПВП) – непроникающего криопротектора. Растворы криопротекторов готовили на стерильной морской воде (МВ) с соленостью 32‰. ДМСО добавляли до конечной концентрации 5% (об/об), ПВП до 2% (масса/об). Суспензию микроводорослей переносили в 2 мл криопробирки и постепенно добавляли охлаждённые растворы криопротекторов. Криоконсервацию проводили ступенчато: криопробирки охлаждали до -10°С со скоростью 1°С/мин, затем до -45°С со скоростью 1,7°С/мин, далее до -90°С со скоростью 2,0°С/мин и переносили в жидкий азот. После хранения в жидком азоте образцы оттаивали на водяной бане при +30°С, переносили в 15 мл пробирки и постепенно разбавляли МВ в 10 раз. Клетки осаждали центрифугированием, промывали МВ, ресуспендировали в питательной среде и культивировали, как описано выше.

Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение. Статистическую обработку данных осуществляли в программе Excel (Microsoft, США).

Результаты. Рост контрольных клеток *Melosira* sp. описывается типичной s-образной кривой, характерной для большинства клеток водорослей в культуре (рис. 1).

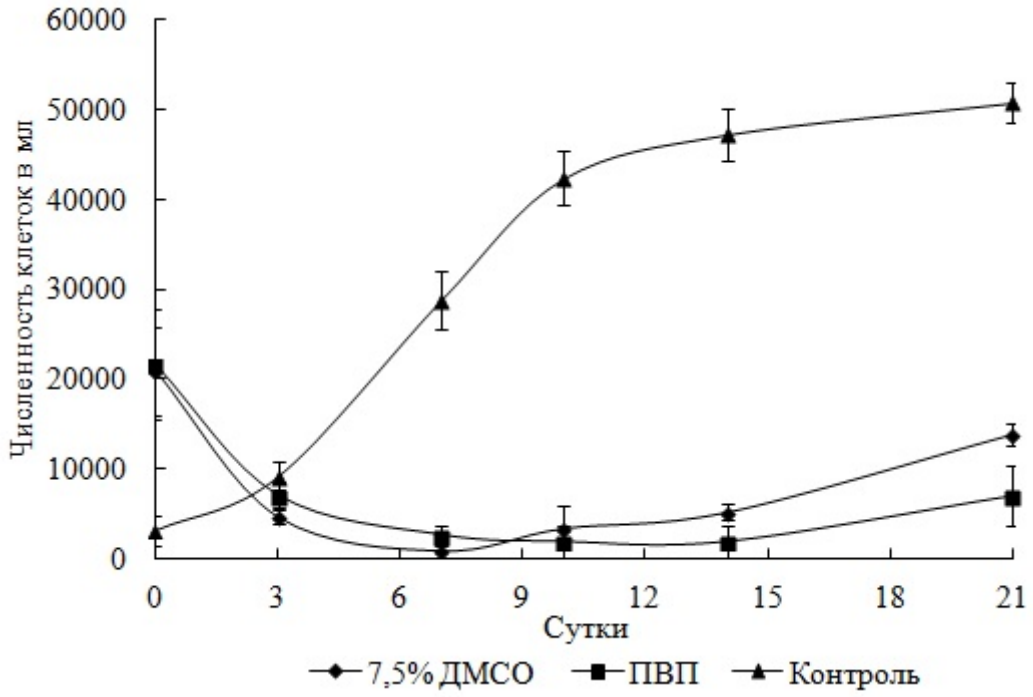

Рис. 1. Динамика численности клеток диатомовой водоросли *Melosira* sp. в контроле и после криоконсервации.

Fig. 1. Cell number dynamics of diatom alga *Melosira* sp. in control and after cryopreservation.

К третьим суткам после криоконсервации часть клеток погибала независимо от использованного криопротектора, причём большее количество клеток погибало в случае, если в качестве криопротектора использовали только ДМСО. Однако при этом с 10 сут после оттаивания восстановление культуры происходило быстрее.

Даже спустя 21 сут после криоконсервации в суспензии оставались поврежденные клетки (рис. 2), но в культуре наблюдали постепенный рост нитей водорослей.

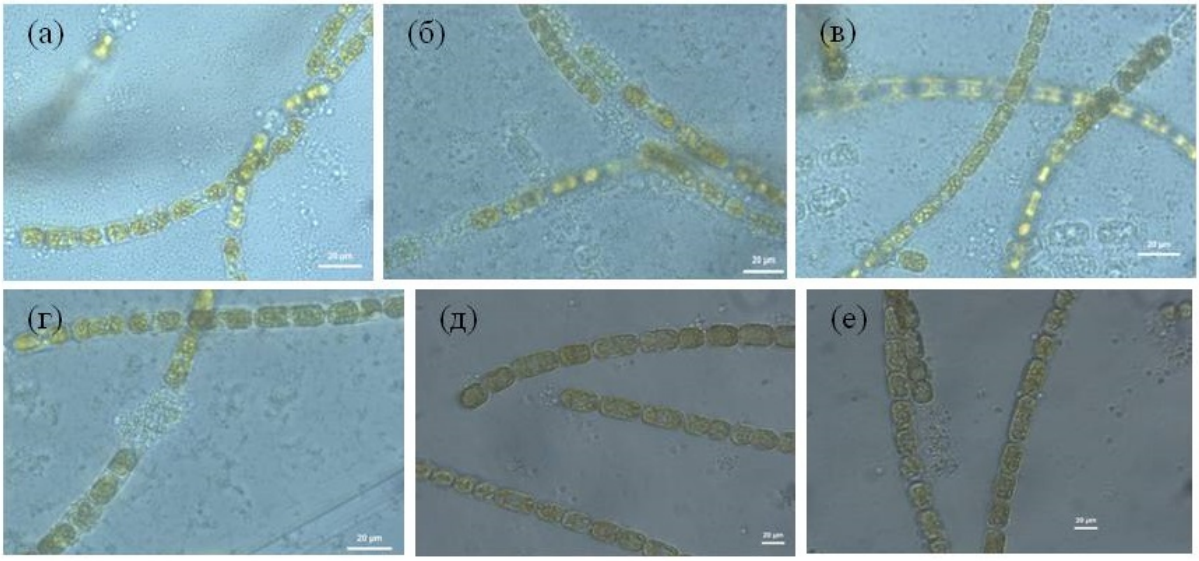

Рис. 2. Внешний вид *Melosira* sp. после криоконсервации и в контроле: а) – в день оттаивания после криоконсервации в ДМСО, б) – на 21-е сутки культивирования после криоконсервации в ДМСО, в) – в день оттаивания после криоконсервации в ПВП, г) – на 21-е сутки культивирования после криоконсервации с ПВП, д, е) – контроль.

Fig. 2. The appearance of *Melosira* sp. after cryopreservation and in control.

ДМСО является проникающим внутрь клеток криопротектором, связывающим воду внутри клеток и блокирующим формирование внутриклеточного льда – основной причины гибели клеток. Однако, он является токсичным для многих клеток (Miyagi-Shiohira et al., 2015). В качестве эффективной малотоксичной альтернативы при криоконсервации водорослей иногда использовали ПВП (Benhra et al., 1997). Однако, ПВП практически бесполезен при замораживании относительно крупных клеток, какими являются клетки *Melosira* sp. (более 10–15 мкм), с высоким содержанием воды из-за его неспособности проникнуть через клеточную стенку (Hubalek, 2003) и, таким образом, предотвратить образование внутриклеточного льда.

Успешность криоконсервации можно измерить количеством клеток, которые остаются жизнеспособными и возобновляют нормальную физиологическую активность после оттаивания. Рекомендуемая минимальная жизнеспособность после криоконсервации культур микроводорослей, хранящихся в Коллекции культур водорослей и простейших CCAP (Великобритания), составляет 60% (Morris, 1981). Однако для многих видов водорослей это значение невозможно достичь по разным причинам: их жизнеспособность после оттаивания не превышает 5% (Day and Brand, 2005). Выживаемость *Melosira* sp. сразу после оттаивания составляла 4,8% для варианта с ДМСО и 12,2% для варианта с ПВП, но восстановление культуры до 66% в опыте с ДМСО и 33% в опыте с ПВП от первоначального количества происходило за 3 недели, что достаточно быстро, учитывая относительно крупный размер клеток и наличие вакуоли, занимающей большую часть клетки.

Работа выполнена в рамках государственной темы ННЦМБ ДВО РАН «Динамика морских экосистем, адаптации организмов и сообществ к факторам внешней среды» (№ 124021900009-6).

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Abreu L., Borges L., Marangoni J., Abreu P.C.* Cryopreservation of some useful microalgae species for biotechnological exploitation // Journal of Applied Phycology. 2012. V.24, №6. P. 1579–1588. DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-012-9818-0

2. *Benhra A., Radetski C.M., Ferard J.F.* Cryoalgotox: Use of cryopreserved alga in a semistatic microplate test // Environmental Toxicology and Chemistry. 1997. V. 16, № 3. P. 505–508. DOI: https://doi.org/10.1002/etc.5620160316

3. *Day J.G., Brand J.J.* Cryopreservation methods for maintaining microalgal cultures // R.A. Andersen (ed.). Algal culturing techniques. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – P. 165–187.

4. *Guillard R.R.L., Ryther J.H.* Studies of marine planktonic diatoms: i. *Cyclotella nana* Hustedt, and Detonula confervacea (Cleve) Gran // Canadian Journal of Microbiology. 1962. V. 8, № 2. P. 229–239. DOI: https://doi.org/10.1139/m62-029

5. *Hubalek Z.* Protectants used in the cryopreservation of microorganisms // Cryobiology. 2003. V. 46, № 3. P. 205–229. DOI: https://doi.org/10.1016/s0011-2240(03)00046-4

6. *Miyagi-Shiohira C., Kurima K., Kobayashi N., Saitoh I., Watanabe M., Noguchi Y., Matsushita M., Noguchi H.* Cryopreservation of Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells // Cell Medicine. 2015. V. 8, № 1–2. P. 3–7.DOI: https://doi.org/10.3727/215517915X689100

7. *Morris G.J.* Cryopreservation: an introduction to cryopreservation in culture collections. – Cambridge: Institute of Terrestrial Ecology, 1981. – 37 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Маркина Жанна Васильевна – к.б.н., н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); zhannav@mail.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0001-7135-1375.

Борода Андрей Викторович – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); borodandy@gmail.com; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-0257-748X; SPIN-код 1506-4382.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophta)

Zhanna V. Markina, Andrei V. Boroda

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Interest in cryopreservation of microalgae has been topical for over 60 years, but it is impossible to develop a universal protocol for freezing and thawing and it is selected empirically. We have successfully cryopreserved the diatom *Melosira varians* in the presence of 5% dimethyl sulfoxide and 2% polyvinylpyrrolidone using a stepwise freezing. Dimethyl sulfoxide turned out to be more effective, allowing us to preserve a larger number of cells and their proliferative potential after thawing.

Key words: Diatom; *Melosira* sp.; cryopreservation; cryoprotectants

References

1. Abreu L., Borges L., Marangoni J., Abreu P.C. Cryopreservation of some useful microalgae species for biotechnological exploitation. *Journal of Applied Phycology.* 2012. V.24, №6. P. 1579–1588. DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-012-9818-0

2. Benhra A., Radetski C.M., Ferard J.F. Cryoalgotox: Use of cryopreserved alga in a semistatic microplate test. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 1997. V. 16, № 3. P. 505–508. DOI: https://doi.org/10.1002/etc.5620160316

3. Day J.G., Brand J.J. Cryopreservation methods for maintaining microalgal cultures. *In:* R.A. Andersen (Ed.). Algal culturing techniques. Elsevier, Amsterdam, 2005. P. 165–187.

4. Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies of marine planktonic diatoms: i. *Cyclotella nana* Hustedt, and Detonula confervacea (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology.* 1962. V. 8, № 2. P. 229–239. DOI: https://doi.org/10.1139/m62-029

5. Hubalek Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. *Cryobiology.* 2003. V.46, №3. P. 205–229. DOI: https://doi.org/10.1016/s0011-2240(03)00046-4

6. Miyagi-Shiohira C., Kurima K., Kobayashi N., Saitoh I., Watanabe M., Noguchi Y., Matsushita M., Noguchi H. Cryopreservation of Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells. *Cell Medicine.* 2015. V.8, № 1–2. P. 3–7.DOI: https://doi.org/10.3727/215517915X689100

7. Morris G.J. Cryopreservation: an introduction to cryopreservation in culture collections. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, 1981. 37 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Маркина Ж.В., Борода А.В. Криоконсервация диатомовой водоросли *Melosira* sp. // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 384–388. URL: http://algology.ru/2229

Markina Zh.V., Boroda A.V. Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophta). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 384–388. URL: http://algology.ru/2229

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-384-388; EDN – IJKZJH

УДК 577.115.3 Биотехнологии

Влияние концентрации азота в питательной среде на рост культур *Stephanocyclus meneghinianus*

The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*

Селезнева А.П., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.

Anna P. Selezneva, Zinaida V. Krivova, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН (Москва, Россия)

В ходе исследования был проведён анализ влияния ступенчатого изменения концентрации азота (от 0 до 0,6 г/л) в среде WC на рост культур двух штаммов *Stephanocyclus meneghinianus* (M418 и M456). Результаты эксперимента показали, что увеличение количества азота в питательной среде стимулирует рост культур. Доминантными жирными кислотами для обоих штаммов были пальмитиновая, пальмитолеиновая, миристиновая и эйкозапентаеновая кислоты. Установлено, что высокое содержание азота в питательной среде оптимально для накопления мононенасыщенных жирных кислот, в то время как азотное голодание стимулирует накопление полиненасыщенных.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; жирные кислоты; культивирование; оптическая плотность; стрессирование; сухая биомасса

Культивирование микроводорослей используется в биотехнологии для создания кормов и подкормок для животноводства и аквакультур, биотоплива, а также получения различных метаболитов, в том числе пигментов, липидов (например, омега-3-ненасыщенных кислот), изопреноидов (Pulz, Gross, 2004). На накопление данных веществ в клетках влияют условия культивирования и состав питательной среды (Hu, 2013), поэтому изучение того, как различные типы стресса влияют на метаболизм клеток, является актуальным.

Одним из важнейших факторов, влияющих на рост микроводорослей, является содержание азота в питательной среде. Помимо влияния на продуктивность и скорость роста культуры, азотное голодание также влияет и на синтез метаболитов (Maltsev et al., 2023).

В данной работе был проведён эксперимент по культивированию двух пресноводных штаммов *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek (M418 и M456) в течении 13 дней на среде WC (Guillard, Lorenzen 1972) с разной концентрацией азота от 0 до 0,6 г/л. Всего было использовано 5 градаций концентрации азота: без азота (0 г/л), сильное ограничение азота (0,05 г/л), умеренное ограничение азота (0,15 г/л), среднее содержание азота (0,3 г/л) и насыщенное содержание азота (0,6 г/л) (Maltsev et al., 2023).

Оценка динамики роста культур проводилась с помощью измерения оптической плотности при k=680 нм (OD_{680}): на богатой азотом среде оба штамма достигли максимальной оптической плотности при культивировании (0,147 для штамма М456 и 0,094 для штамма М418). Кроме того, по окончании эксперимента штамм М456 имел бóльшую оптическую плотность в сравнении с штаммом М418.

Также, был проведён анализ состава жирных кислот для обоих штаммов. Доминантными жирными кислотами для обоих штаммов стали миристиновая 14:0, пальмитиновая 16:0, пальмитолеиновая 16:1n-7 и эйкозапентаеновая 20:5n-3 кислоты – на них приходилось от 95 до 97% от общей суммы жирных кислот. В значительно меньших количествах были представлены другие жирные кислоты. При этом отмечено, что с увеличением концентрации азота в питательной среде увеличивалось количество мононенасыщенных жирных кислот, в то время как доля полиненасыщенных снижалась. В условиях эксперимента штамм М418 показал самое высокое содержание пальмитиновой кислоты (44,5% при сильном ограничении азота), стеариновой кислоты (1,64% при сильном ограничении азота), в то время как штамм М456 – миристиновой (6,72% при умеренном ограничении азота), пальмитолеиновой (58,92% на насыщенной азотом среде), олеиновой (0,83% при отсутствии азота) кислот.

По результатам исследования установлено, что изменение концентрации азота в питательной среде влияет на рост штаммов *Stephanocyclus meneghinianus*. Концентрация азота 0,6 г/л оказалась оптимальной для роста штаммов М418 и М456 – в данных условиях зафиксирована самая высокая оптическая плотность. Кроме того, при разных концентрациях азота наблюдалось изменение профиля жирных кислот в клетках диатомовых водорослей. Низкие концентрации азота оказались оптимальными для накопления в клетках полиненасыщенных жирных кислот, в том числе омега-3.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, https://rscf.ru/project/23-74-10081/).

Авторы заявляют ***об отсутствии конфликта интересов****, требующего раскрытия в данной статье.*

Список литературы

1. *Guillard R.R.L., Lorenzen C.J.* Yellow-green algae with chlorophyllide c // Journal of Phycology. 1972. V.8. P. 10–14.

2. *Hu Q.* Environmental Effects on Cell Composition // Richmond A. (ed.). Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. – Oxford: Blackwell Science, 2013. – P. 114–122. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch7

3. *Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S.* Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. V.22. ID 239. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6

4. *Pulz O., Gross W.* Valuable products from biotechnology of microalgae // Applied Microbiology and Biotechnology. 2004. V. 65. P. 635–648. DOI: https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 11.09.2025; принята к публикации 11.09.2025

Сведения об авторах

Селезнева Анна Павловна – инженер, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); seleznevaanna03@gmail.com.

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapeya@mail.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0002-9928-4810; SPIN-код 3675-3153.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-0999-9669; SPIN-код 4170-2884.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4710-319X; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*

Anna P. Selezneva, Zinaida V. Krivova, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

This research analysed the impact of a stepwise change in nitrogen concentration (from 0 to 0,6 g/L) in WC medium on the growth of cultures of two strains (M418 and M456) of *Stephanocyclus meneghinianus*. The results revealed that increasing nitrogen content in the medium stimulates the growth of cultures. Maximum values of dry biomass content were achieved at strong nitrogen limitation in the medium (4,6 g/L). The dominant fatty acids for both strains were palmitic, palmitoleic, myristic and eicosapentaenoic acids. It was found that high nitrogen content in the nutrient medium is optimal for the accumulation of monounsaturated FAs, while nitrogen starvation stimulates the accumulation of polyunsaturated fatty acids.

Key words: Diatoms; cultivation; stressing; fatty acids; optical density; dry biomass

References

1. Guillard R.R.L., Lorenzen C.J. Yellow-green algae with chlorophyllide c. *Journal of Phycology.* 1972. V.8. P. 10–14.

2. Hu Q. Environmental Effects on Cell Composition. In: Richmond A. (Ed.). Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. Blackwell Science, Oxford, 2013. P. 114–122. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch7

3. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae. *Microbial Cell Factories.* 2023. V.22. ID 239. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6

4. Pulz O., Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2004. V. 65. P. 635–648. DOI: https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Селезнева А.П., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И. Влияние концентрации азота в питательной среде на рост культур *Stephanocyclus meneghinianus* // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 389–391. URL: http://algology.ru/2230

Selezneva A.P., Krivova Z.V., Kulikovskiy M.S., Maltsev Y.I. The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 389–391. URL: http://algology.ru/2230

DOI – https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-389-391; EDN – HVZOLG