

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ



Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТАНОВЛЕНИЯ
И РАЗВИТИЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ**

Материалы Всероссийской
научно-практической конференции

(Владивосток, 5–6 июня 2025 года)

Электронное издание

Владивосток
Дальрыбвтуз
2025

УДК 639.2
ББК 65.35
А43

Организационный комитет конференции:

Председатель – Жук Татьяна Алексеевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

Зам. председателя – Денисова Елена Викторовна, начальник научного управления ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

Секретарь – Образцова Елизавета Юрьевна, зам. начальника научного управления

Адрес оргкомитета конференции:

690087, г. Владивосток
ул. Луговая, 52б
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
Тел./факс: 8 (423) 2-44-11-76
[http:// www.conf.dalrybtuz.ru](http://www.conf.dalrybtuz.ru)
e-mail: dalrybtuz-conf@mail.ru

А43 Актуальные вопросы становления и развития рыбного хозяйства России : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. (49,8 Мб). – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2025. – 589 с. – Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I ; 128 Mb RAM ; Windows 98/XP/7/8/10 ; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-88871-796-7

Приведенные материалы охватывают широкий спектр актуальных вопросов становления и развития профильного образования и подготовки кадров для рыбохозяйственного комплекса, развития рыбохозяйственных исследований (рыболовство, экология, аквакультура), перспектив развития техники, технологии и управления качеством в пищевой промышленности, развития морской техники и технологии, а также экономических и управленческих процессов.

Представлены результаты научных исследований ученых Дальрыбвтуза и других вузов России.

УДК 639.2
ББК 65.35

ISBN 978-5-88871-796-7

© Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный
университет, 2025

Екатерина Дмитриевна Дёгтева

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский филиал («ТИНРО»), ведущий специалист, Россия, Владивосток, e-mail: ekaterina.degteva@tinro.vniro.ru

**Особенности роста микроводорослей *Nannochloropsis* sp.
в лабораторных условиях**

Аннотация. Изучены характеристики роста микроводорослей *Nannochloropsis* sp. в лабораторной культуре ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»). В результате ежедневного подсчета концентрации клеток микроводорослей представлена кривая роста и произведен расчет удельной скорости роста *Nannochloropsis* sp.

Ключевые слова: микроводоросли, *Nannochloropsis* sp., кривая роста, удельная скорость роста, среднесуточный прирост

Ekaterina D. Degteva

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography «VNIRO», Pacific Branch (TINRO), Leading Specialist, Russia, Vladivostok, e-mail: ekaterina.degteva@tinro.vniro.ru

Features of the growth of microalgae *Nannochloropsis* sp. in laboratory conditions

Abstract. In the course of the research, the growth characteristics of the microalgae *Nannochloropsis* sp. in the laboratory culture of the Scientific Research Center of the Russian Federation, VNIRO (TINRO). The concentration of microalgae cells was calculated daily. As a result of the study, the growth curve was presented and the specific growth rate of *Nannochloropsis* sp. was calculated.

Keywords: microalgae, *Nannochloropsis* sp., growth curve, specific growth rate, average daily growth

Введение

Культивирование микроводорослей играет важную роль в разработке биотехнологии выращивания беспозвоночных в марикультуре [1], поскольку они служат естественным источником пищи для культивируемых организмов [2, 3]. Микроводоросли являются незаменимым продуктом питания особенно на ранних стадиях развития животных из-за их размера, простоты выращивания и питательной ценности [4]. Однако не все из них обеспечивают хороший рост и выживаемость объектов марикультуры. Размер, усвояемость и биохимический состав – основные факторы, которые определяют успех использования кормовых микроводорослей. Их клетки должны обладать мелкими размерами, быть нетоксичными и иметь легко перевариваемую клеточную стенку, чтобы животные могли их проглатывать и переваривать [5]. Кроме того, очень важен надлежащий химический состав, который обеспечит высокую питательную ценность. Наиболее важными питательными веществами являются белки, липиды, углеводы и минералы, а также специфические питательные вещества (аминокислоты и незаменимые жирные кислоты, стерин, сахара и витамины) [6].

В марикультуре микроводоросли используются в качестве основного корма для двустворчатых моллюсков на протяжении всего их жизненного цикла (в том числе и в устрицеводстве) [7]. В целом, микроводоросли составляют основу рациона моллюсков, который нелегко заменить искусственным питанием [8]. Поэтому их выращивание становится актуальным в марикультурных хозяйствах.

Микроводоросли рода *Nannochloropsis* – одноклеточные, зеленые, планктонные, неподвижные водоросли, встречающиеся как в морских, так и в пресноводных водоемах. Они

имеют небольшие сферические (или слегка яйцевидные) клетки диаметром 2–5 мкм [9], или цилиндрические клетки размером $3-4 \times 1,5$ мкм, не имеющие жгутиков [10].

Морские микроводоросли рода *Nannochloropsis* являются источником корма для креветок, рыбы, зоопланктона и моллюсков [11, 12], поскольку они отличаются высоким содержанием белка и липидов [13] и быстрым ростом [14]. Липиды, содержащие много жирных кислот (эйкозапентаеновая кислота), играют важную роль в воспроизводстве ценных объектов марикультуры. Общее содержание липидов у *Nannochloropsis* составляет около 37–60 % сухого веса клетки [15, 16].

Таким образом, микроводоросли рода *Nannochloropsis* обладают высоким потенциалом в области марикультуры, т.к. они имеют высокую питательную ценность, быстрый рост и приемлемые размеры клеток.

При выращивании микроводорослей необходимо проводить мониторинг и регулирование роста клеток [17], поскольку это важно для поддержания здоровья культуры. Некоторые условия, такие как интенсивность освещения, температура, соленость и концентрация питательных веществ, должны быть оптимальны, поскольку это влияет на физиологию микроводорослей и их рост [8, 18–20].

В практике мировой аквакультуры двустворчатых моллюсков на ранних личиночных стадиях развития в качестве корма в основном используют микроводоросли родов *Isochrysis*, *Tetraselmis*, *Dunaliella*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Skeletonema* и *Phaeodactylum* [21]. Порой на предприятиях марикультуры может происходить сбой в производстве кормов, из-за чего какое-то время используют монодиету [22]. Альтернативным решением этой проблемы может быть использование других видов микроводорослей в качестве корма с похожими свойствами. Поэтому целью работы являлось изучение роста новой для практики отечественной марикультуры микроводоросли *Nannochloropsis* sp. как перспективного кормового объекта при культивировании морских беспозвоночных. В задачи исследования входили: ежедневный подсчет концентрации клеток микроводорослей, построение кривой роста культуры *Nannochloropsis* sp. и расчет ее удельной скорости роста.

Материалы и методы

Материалом исследования послужила культура микроводорослей *Nannochloropsis* sp., которая в виде суспензии сохраняется в коллекции Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» с периодическим пересевом на свежие питательные среды.

Исследовательские работы проводились в третьей декаде апреля в течение 10 дней. Культивирование *Nannochloropsis* sp. осуществлялось в колбах объемом 100 мл. Морскую воду фильтровали через бумажный фильтр «Синяя лента» 2–3 мкм. Стерилизацию проводили путём трёхкратного нагревания колб с водой до 80 °С и выдерживания при этой температуре в течение 20–30 мин. Микроводоросли выращивали в накопительной монокультуре на среде Гольдберга, содержащей KNO_3 ; Na_2HPO_4 ; $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$. Питательную среду готовили на стерилизованной морской воде, соленостью 32–33 ‰. Температура поддерживалась на уровне 23–24 °С, светопериод – 12:12 ч (свет : темнота), освещенность – 1000 Лк с помощью люминесцентных ламп.

В каждой колбе задавали одинаковую первоначальную концентрацию, которая составляла около 2 500 000 кл./мл.

Концентрацию клеток микроводорослей определяли с помощью микроскопа Olympus ВН-2 методом прямого подсчета в камере Горяева. Расчет производили в трех повторностях из каждой пробы (колбы).

Расчет удельной скорости роста культуры микроводорослей *Nannochloropsis* sp. производили по следующей формуле [23]:

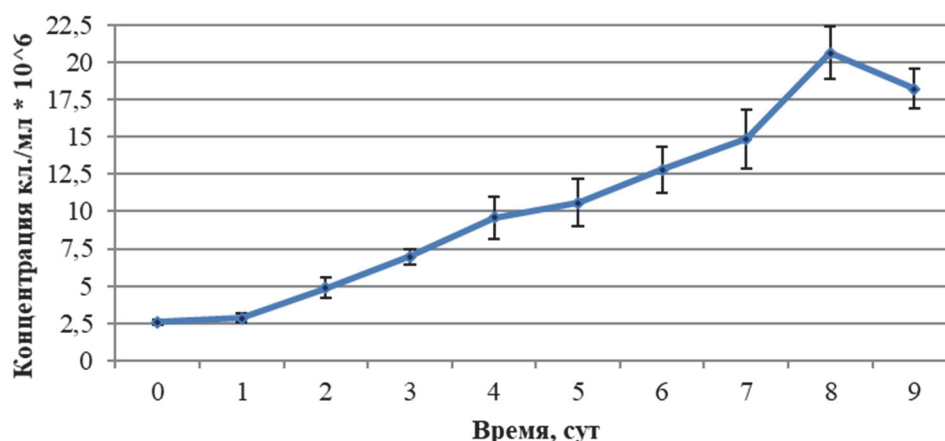
$$\mu = \frac{\ln N_1 - \ln N_0}{T_1 - T_0},$$

где μ – удельная скорость роста, сут⁻¹; N_0 – концентрация клеток микроводорослей в начале выращивания; N_1 – концентрация клеток микроводорослей в конце выбранного интервала выращивания; $T_1 - T_0$ – временной интервал, сут.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы MS Excel.

Результаты и обсуждение

На рисунке представлена кривая роста микроводорослей *Nannochloropsis* sp. При культивировании микроводорослей продолжительность лаг-фазы составила около суток, экспоненциальная фаза развития наступила на 2 сут, это говорит о том, что культура микроводорослей хорошо адаптировалась. Концентрация клеток логарифмически увеличивалась с 1 по 8 сут. Стационарная фаза наступила на 8 сут. Максимальная концентрация клеток отмечалась на 8 сут. и составила $20,63 \times 10^6$ кл./мл. Рост культуры микроводорослей прекратился на 9 сут.



Кривая роста культуры микроводорослей *Nannochloropsis* sp.

Удельная скорость роста варьировала от 0,10 до 0,53 сут⁻¹ (табл. 1). Наибольшая удельная скорость роста отмечалась на 2 сут. выращивания, когда наступила экспоненциальная фаза развития. Наименьший показатель удельной скорости роста отмечался во время лаг-фазы. В среднем удельная скорость составила 0,26 сут⁻¹.

Таблица 1 – Параметры роста *Nannochloropsis* sp. во время культивирования

Время, сут	Концентрация клеток, кл./мл × 10 ⁶ *	μ , сут ⁻¹
0	2,57 ± 0,08	-
1	2,86 ± 0,17	0,11
2	4,86 ± 0,37	0,53
3	6,95 ± 0,30	0,36
4	9,58 ± 0,77	0,32
5	10,59 ± 0,87	0,10
6	12,79 ± 0,85	0,19
7	14,88 ± 1,08	0,15
8	20,63 ± 0,96	0,33
9	18,24 ± 2,04	-

* Значения представлены в виде среднего и ошибки среднего

На рост культуры помимо выбора питательной среды оказывают влияние температурные условия, соленость, первоначальная концентрация. В литературе данные по росту культуры *Nannochloropsis* немногочисленны. Считается, что для видов *Nannochloropsis* соленость в пределах 20–40 ‰ является нормальной [24]. Исследование, проведенное Конуральпом и соавторами [25], показало, что эти виды нуждаются в умеренных температурах. Оптимальная

температура для *Nannochloropsis* sp. составляет 24–26 °С [24, 26]. Условия, созданные нами, соответствуют благоприятным параметрам для роста наннохлоропсиса.

В табл. 2 для сравнения представлены данные из литературных источников по выращиванию микроводорослей рода *Nannochloropsis*.

Таблица 2 – Данные по культивированию *Nannochloropsis* sp. разных исследователей

Питательная среда	Температура, °С	Соленость, ‰	Первоначальная концентрация, кл./мл	Наступление фазы, день		Источник
				Экспоненциальная	Стационарная	
Уолна	29	10	$5,0 \times 10^5$	3-й	6-й	[14]
Конвея	23,0–24,8	30	$1,068 \times 10^6$	2-й	6-й	[27]
Уолна	28 ± 1	35 ± 1	$1,0 \times 10^6$	4-й	9-й	[28]

Данные из табл. 2 свидетельствуют о том, что при первоначальной концентрации клеток от 0,5 до 1 млн переход на логарифмическую фазу наблюдался не ранее, чем на 2–3 день. В нашем исследовании мы задали повышенную первоначальную концентрацию клеток микроводорослей, что способствовало наступлению экспоненциальной фазы за короткий промежуток времени. Таким образом, на интенсивность увеличения концентрации клеток микроводорослей оказывает влияние объем инокулята: его увеличение может способствовать более быстрому переходу в экспоненциальную фазу.

По литературным данным [14, 24, 27, 28] известно, что максимальные концентрации клеток микроводорослей рода *Nannochloropsis* в лабораторной культуре могут составлять $4,7–32,4 \times 10^6$ кл./мл. Удельная скорость роста в среднем составляет $0,14–0,86 \text{ сут}^{-1}$ [14, 27–31]. Наши результаты показали сравнительно высокую концентрацию и скорость роста, что свидетельствует о том, что условия, созданные нами, также оказали благоприятное влияние на рост культуры *Nannochloropsis* sp.

Заключение

Таким образом, результаты нашего исследования показали, что культивирование микроводорослей рода *Nannochloropsis* на питательной среде Гольдберга в лабораторных условиях при солености 32–33 ‰ и температуре 23–24 °С привело к успешному росту и развитию культуры: раннему переходу на экспоненциальную фазу роста, достижению высокой удельной скорости роста, высокой концентрации клеток в культуре за короткий промежуток времени. Это открывает перспективу для дальнейшего изучения применения микроводорослей *Nannochloropsis* sp. в качестве корма на марикультурных хозяйствах.

Библиографический список

1. Sirakov I., Velichkova K., Stoyanova S., Staykov Y. The importance of microalgae for aquaculture industry. Review. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2(4). 2015. P. 81–84.
2. Zahira Y., Ehsan A., Afifi Z., Masita M., Mohd S. T. An overview: biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture. Journal of Biological Research. 21: 2014. P. 1–10.
3. Freire I., Cortina-Burgueno A., Grillea P., Arizcun M.A., Abellan E., Segura M., Sousa F.W., Otero A. *Nannochloropsis limnetica*: A freshwater microalga for marine aquaculture. Aquaculture. 459: 2016. P. 124–130.
4. Brown M., Jeffrey S. Biochemical composition of microalgae from the green algal classes Chlorophyceae and Prasinophyceae. 1. Amino acids, sugars and pigments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 161: 1992. P. 91–113.
5. De Pauw N., Pruder G. Use and production of microalgae as food in aquaculture: practices, problems and research needs. In: M. Bilio, H. Rosenthal and C.J. Sindermann (eds.), Realism in Aquaculture: Achievements, Constraints, Perspectives. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium, 1981. P. 77–106.
6. Brown M., Jeffrey S., Garland C. Nutritional aspect of microalgae used in mariculture; a literature review. CSIRO Marine Laboratories Rep. 205, 1989. 44 pp.

7. Muller-Feuga A., Moal J., Kaas R. The microalgae of aquaculture. In: Live feeds in marine aquaculture. Stottrup J. G., Mcevoy L. (eds), John Wiley & Sons, Ltd, 2007. P. 206–252.
8. Stottrup J.G., McEvoy L. Live feeds in marine aquaculture. John Wiley & Sons, Oxford, 2008. 336 pp.
9. Gwo J. C., Chiu J. Y., Chou C. C., Cheng H. Y. Cryopreservation of a marine microalga, *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae). *Cryobiology*, 50(3), 2005. P. 338–343.
10. Premachandra E., Balasooriya W., Premarathna M., Ekanayaka I. *Nannochloropsis* sp.: Culturing and Potential for Fish Feed Production. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 22, 2023. P. 2687–2698.
11. Borowitzka M. A. Algae for aquaculture: Opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*. 9: 1997. P. 393–401.
12. Camacho-Rodriguez J., Ceron-Garcia M. C., Gonzalez-Lopez C. V., Fernandez-Sevilla J. M., Contreras-Gomez A., Molina-Grima E. A low-cost culture medium for the production of *Nannochloropsis gaditana* biomass optimized for aquaculture. *Bioresource Technology*. 144: 2013. P. 57–66.
13. Hermawan A. The protein, lipid and fatty acids contents of *Tetraselmis* sp. with various culture media. Tesis. Kasetsart University, Thailand. 2004.
14. Fakhri M., Arifin N. B., Budianto B., Yuniarti A., Hariati A.M. Effect of salinity and photoperiod on growth of microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. *Nature Environment and Pollution Technology*. 14(3): 2015. P. 563–566.
15. Ashour M., El-Wahab K.A. Enhance growth and biochemical composition of *Nannochloropsis oceanica*, cultured under nutrient limitation, using commercial agricultural fertilizers. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 7, 2017. P. 233.
16. Patel V. K., Soni N., Prasad V. et al. CRISPR–Cas9 System for Genome Engineering of Photosynthetic Microalgae. *Mol Biotechnol* 61, 2019. P. 541–561.
17. Havlik I., Lindner P., Scheper T., Reardon K.F. On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria. *Trends Biotechnology*. 31(7): 2013. P. 406–414.
18. Helm M. M., Bourne N., Lovatelli A., *Ecloserie de bivalves. Un manuel pratique*. FAO, Rome, Document Technique sur Les Peches 471, 2006. 184 pp.
19. Khoeyi Z. A., Seyfabadi J., Ramezanpour Z. Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalgae, *Chlorella vulgaris*. *Aquaculture International*. 20: 2012. P. 41–49.
20. Lavens P., Sorgeloos P. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. FAO, Rome, Fisheries Technical Paper No. 361, 1996. 295 pp.
21. Helm M. M., N. Bourne, and A. Lovatelli. *Hatchery Culture of Bivalves: A Practical Manual*. FAO Fisheries Technical Paper Number 471. Rome, Italy. 2004. 200 pp.
22. Дегтева Е.Д. Оценка влияния некоторых параметров содержания на развитие, рост и выживаемость личинок тихоокеанской устрицы при массовом выращивании на юге Приморья // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: мат. Нац. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых 28–29 ноября 2024 года. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2025. С. 71–78.
23. Schoen S. *Cell counting // Experimental phycology: a laboratory manual*. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1988. P. 16–22.
24. Abu-Rezq T. S., Al-Musallam L., Al-Shimmari J., Dias P. Optimum production conditions for different high-quality marine algae. *Hydrobiologia*. 1999; 403. P. 97–107.
25. Konuralp E, Koç C, Gezici M, Gürcan R. Biyoyakıt Amaçlı *Nannochloropsis salina* Mikroalg Türünün Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*. 2013. 9(2): P. 99–107.
26. Yamasaki S., Hirata H. CO₂ concentration change in *Nannochloropsis* sp. culture medium. *Aquacult. Eng.* 14, 1995. P. 357–365.

27. Kargin H. Production and Growth Performance of *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd in the Helical Photobioreactor. *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*. 75. 10.46989/001c.81127. 2023. P. 1–9.
28. Yustinadiar N., Manurung R., Suantika G. Enhanced biomass productivity of microalgae *Nannochloropsis* sp. in an airlift photobioreactor using low-frequency flashing light with blue LED. *Bioresour. Bioprocess*. 7, 43. 2020. P. 1–15.
29. Elyakoubi M., Ouagajjou Y., Rijal lebled B., Benjelloun Harzimi M., Fal S., Benhima R., Idhalla M., Errhif A. Isolation and characterization of potential microalgae strains from Moroccan coasts for their utilization as feed in shellfish hatcheries. *AACL Bioflux* 13(6): 2020. P. 3754–3768.
30. Alsull M., Omar W. Responses of *Tetraselmis* sp. and *Nannochloropsis* sp. isolated from Penang National Park Coastal Waters, Malaysia, to the combined influences of salinity, light and nitrogen limitation. *International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences*, Bangkok, 2012. P. 142–145.
31. Pal D., Khozin-Goldberg I., Cohen Z., Boussiba S. The effect of light, salinity and nitrogen availability on lipid production by *Nannochloropsis* sp. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 90: 2011. P. 1429–1441.