ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РЫБНОЙ ОТРАСЛИ В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Материалы III Национальной научно-технической конференции

(Владивосток, 18 декабря 2019 года)

Электронное издание

Владивосток
Дальрыбвтуз
2020

УДК 639.2+338.439
ББК 65.35+65.5
И66

Организационный комитет конференции:

Председатель – Щека Олег Леонидович, доктор физ.-мат. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

Зам. председателя – Шестак Ольга Игоревна, канд. ист. наук, доцент, начальник научного управления ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

Секретарь – Образцова Елизавета Юрьевна, главный специалист 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.dalrybvtuz.ru
e-mail: dalrybvtuz-conf@mail.ru

И66 **Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации** : материалы III Нац. науч.-техн. конф. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. (33,5 Mb). – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2020. – 289 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 978-5-88871-738-7

Приведенные материалы охватывают широкий спектр инновационного развития рыбной отрасли, рационального использования водных биологических ресурсов, проблемы производства рыбной продукции, совершенствования технологии продуктов питания и управления качеством, а также актуальные вопросы мореплавания и технического обеспечения судов, социально-экономические аспекты развития рыбной отрасли.

Представлены результаты научных исследований ученых Дальрыбвтуза и других вузов России.

УДК 639.2+338.439
ББК 65.35+65.5

ISBN 978-5-88871-738-7

© Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2020

УДК 593.961.1 + 639.3

С.Е. Лескова, Н.Н. Ковалев
ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»,
Владивосток, Россия

МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ОБЪЕКТЫ ПИТАНИЯ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРАНТОВ

Рассмотрены одноклеточные водоросли, являющиеся кормовым объектом для аквакультурантов. Представлены литературные данные биохимического состава микроводорослей, оптимальные условия их выращивания и роль этого объекта в аквакультуре.

Основным направлением деятельности марикультуры в настоящее время является товарное выращивание морских рыб. Основными объектами товарной марикультуры двустворчатых моллюсков являются устрицы, мидии, гребешок и др. Мировой рынок товарной марикультуры моллюсков оценивается в 17 000 000 т. Основными производителями объектов марикультуры являются страны Юго-Восточной Азии, а также Испания, Италия, Франция, на долю которых приходится около 6 % производимой продукции в год [7].

Рост спроса на продукцию марикультуры обозначил важность обеспечения культивируемых видов качественными и разнообразными по составу кормами. Микроводоросли используются в качестве базового корма при получении молоди многих видов двустворчатых моллюсков. Использование микроводорослей как самостоятельного корма и в составе добавок к искусственным кормам обеспечивает их обогащение необходимыми микронутриентами, что обеспечивает высокие выживаемость и темпы роста молоди объектов марикультуры.

Двустворчатые моллюски являются консументами первого порядка. Как для фильтраторов для моллюсков основными пищевыми объектами являются живые водоросли. Замена живых микроводорослей искусственными кормами или другими микроорганизмами (дрожжи, бактерии) оказалась мало эффективна.

Культивирование микроводорослей в качестве корма для двустворчатых моллюсков является достаточно сложной биотехнологической задачей. Объекты культивирования должны иметь размеры, обеспечивающие их успешное усвоение моллюсками, характеризоваться высоким темпом роста, иметь широкую экологическую пластичность по отношению к факторам среды. От условий культивирования зависит и биохимический состав микроводорослей. Отмечаются межвидовые различия химического состава микроводорослей. Как правило, для обеспечения сбалансированного питания молоди моллюсков используют смеси водорослей, наиболее полно обеспечивающих пластическим материалом и выживаемость личинок моллюсков.

Видовой состав наиболее часто культивируемых микроводорослей представлен золотистыми – изохризис (*Isochrysis galbana Parke*), монохризис (*Monochrysis luthei Parke*); зелеными – тетраселмис (*Tetraselmis suecica Butcher*), дуналиэлла (*Dunaliella viridis Teod*) и диатомовыми – хетоцерос (*Chaetoceros calcitrans Meunier*), феодактилюм (*Phaeodactylum tricornutum Bohlin*), скелетонема (*Sceletonema costatum Grev.*) [6].

Пищевая и энергетическая ценность корма обуславливается количественным содержанием основных компонентов – белков, углеводов, жиров.

Многочисленные исследования показывают, что рациональными условиями культивирования водорослей, при которых происходит максимальное накопление питательных веществ, являются температура 22–24 °С, освещенность 10 клюкс, обогащение питательной среды биогенными элементами и микроэлементами [6]. Например, известно, что концентрация фукоксантина, белка и хлорофиллов снижается по мере того, как клетки микроводоросли *P. tricornutum* испытывают недостаток кремния [17]. Морская микроводоросль *Tetraselmis sp.* для эффективного роста использует органический азот и нитраты. Концен-

трация клеток при применении органического азота быстро увеличивалась в течение 2 дней и достигала наивысшего значения 2,23 г/л$^{-1}$ через 10 дней. Нитраты также весьма эффективны для роста клеток тетраселмиса, демонстрируя примерно в 2 раза более высокую продуктивность биомассы [11]. Сообщалось также, что многие другие микроводоросли явно предпочитают нитраты солям аммония для роста *Dunaliella tertiolecta, Isochrysis galbana, Neochloris oleoabundans., C. sorokiniana* и *Botryococcus braun*ii [12, 13, 9, 19, 20].

Биохимический состав микроводорослей во многом зависит от экологии вида или от условий их культивирования Известно, что повышение инсоляции сопровождается увеличением содержания углеводов и, как следствие, снижению содержания белка. Адаптация микроводорослей к низким температурам компенсируется накоплением значительного количества липидов. В начальной (логарифмической) фазе роста водорослей в их клетках накапливается максимальное количество белка, а при переходе на стационарную фазу увеличивается количество липидов. Состав основных компонентов микроводорослей также зависит от режима культивирования (полупроточное или накопительное культивирование). Отмечается, что при полупроточном режиме культивирования в водорослях увеличивается содержание белка, витаминов и некоторых ферментов, по сравнению с накопительным режимом культивировании [6].

Кормовая ценность водорослей определяется, главным образом, количественным и качественным составом липидов. Качественный состав липидов характеризуется наличием незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) [6]. Известно, что морские беспозвоночные не способны синтезировать ряд ПНЖК. От состава жирных кислот микроводорослей напрямую зависит состав жирных кислот моллюсков. На основе знаний механизмов биохимической адаптации повышение содержания ПНЖК в микроводорослях возможно при увеличении инсоляции и снижении температуры культивирования [6].

Известно, что именно жирные кислоты обеспечивают специфический запах свежих устриц. Именно высокое содержание ПНЖК (14–18 %) и пигментов явилось причиной интереса к *Ph. tricornutum* как к объекту культивирования [23, 5]. Специфическая окраска водоросли, обусловленная присутствием фукоксантина и хлорофиллов, обуславливает высокую фотосинтетическую активность данного вида водоросли [18]. Биосинтез пигментов является приспособительной реакцией к экстремальным условиям среды, что предполагает возможность управления данным процессом [8, 14]. Особенно актуальной является разработка методов и приемов культивирования микроводоросли *Ph. tricornutum* с максимальным содержанием каротиноидов [3].

Главным источником энергии в личиночный период развития являются липиды. Кормление спата устриц микроводорослями с высоким содержанием липидов обеспечивало более высокие скорость роста и выживаемость. При перенесении его в естественные условия такой спат растет значительно быстрее. Mata et al. [22] сообщает, что *Tetraselmis sp.* – самый известный вид микроводоросли, который производит высокое содержание липидов. *Tetraselmis* известен из-за его высокой продукции липидов и состава жирных кислот. Максимальная численность клеток была достигнута при следующих условиях: pH – 7, соленость – 30 ‰ и фотосинтетической интенсивности света – 133 мкмоль фотонов м$^{-2}$с$^{-1}$. Кроме того, высокое содержание липидов (49 ± 2,1 % от сухой массы) было получено при pH 7, солености 37,23 ‰ и фотосинтетические интенсивности света 188 мкмоль фотонов м$^{-2}$с$^{-1}$. Состав липидов был представлен на 39,2 % мононенасыщенными жирными кислотами (МНЖК) и 16,1 % ПНЖК от общего количества жирных кислот. ПНЖК водоросли представлены ω3, ω6 и ω9: 5,28 %, 8,12 % и 32,8 % [16].

Микроводоросли являются продуцентами ряда водо- и жирорастворимых витаминов. В литературе встречаются сведения о видоспецифическом накоплении определенных витаминов. Так, микроводоросль тетраселмис накапливает самое большое количество провитамина А и Е, изохризис – витамины РР и С, скелетонема и хетоцерос – витамин В1.

Известна способность микроводорослей синтезировать значительные количества аскорбиновой кислоты: от 498 мкг·г$^{-1}$ у *T. Suecica,* до 772 мкг·г$^{-1}$ у *I. Galbana.* Важность витамина С для личинок моллюсков обусловлена его участием в синтезе [6].

Таким образом, успешное культивирование двустворчатых моллюсков на всех стадиях их развития базируется на использовании микроводорослей в качестве основного корма, содержащего необходимый пластический материал а также макро- и микронутриенты.

Свет определяет интенсивность роста и фотосинтеза микроводорослей. В тоже время свет высокой интенсивности вызывает разрушение пигментов и гибель клеток. Оптимальный диапазон освещенности для микроводорослей составляет 2500–10000 люкс. Число люминесцентных ламп как источника света определяется условиями культивирования. Для стартовых культур микроводорослей освещенность на поверхности составляет около 5–6 клк, для культур высокой плотности – 10–20 клк. Считается, что увеличение минимальной длины светового дня с 12 ч до 24 ч увеличивает в 2 раза плотность культур [6]. Однако для *P. tricornutum* в условиях непрерывного освещения и свето-темнового режима 16 ч : 8 ч была установлена более высокая продуктивность при постоянном освещении. При этом не наблюдалось повышения продуктивности в течение светового периода при свето-темновом режиме, что характерно для некоторых других микроводорослей. Данный факт можно объяснить подавлением процессов фотосинтеза при постоянном освещении [15]. Для получения максимальной продукции в условиях свето-темновых режимов рекомендуется учитывать не только продуктивность микроводорослей на свету, но и ее соотношение с ночной потерей биомассы [1].

При культивировании микроводорослей помимо минеральных компонентов определяющим является источник углерода. Таким источником служит углекислый газ. Прокачивание газовоздушной смеси, содержащей около 2 % CO_2, является достаточным источником углерода. При этом pH культуральной среды находился в пределах 7,5–8,2, что обеспечивает получение максимальной биомассы [6]. Использование иных источников углерода, например, спиртов, также положительно сказывалось на росте культуры *Phaeodactylum tricornutum* [10, 4]. Однако введение в культуральную среду глюкозы замедляет рост культуры *P. tricornutum* [4]. Таким образом, действие органических веществ на рост микроводоросли зависит не только от их концентрации в среде, но и от их химической природы.

Оптимальная температура культивирования кормовых видов микроводорослей составляет 20–24 ºС. При более низких и высоких температурах темп роста замедляется, а при температуре 30 ºС водоросли погибают. Для *I. galbana* и *D. Viridis* в диапазоне температур от 15 до 24 ºС скорость роста увеличивается в 2–3 раза. В то же время для диатомовых водорослей *P. tricornutum*, *C. calcitrans* скорость роста при температуре 15 ºС в 2 раза выше, чем при 24 ºС. Принято считать, что оптимальная температура культивирования золотистых и зеленых микроводорослей – 24 ºС, диатомовых – не выше 20 ºС. При низких значениях температуры (8–14 ºС) поддерживается только жизнедеятельность коллекционных культур.

Основными производителями кормов для двустворчатых моллюсков и креветок являются Канада (Innovative Aquaculture Products) и США (Reed Mariculture). Ценовой диапазон кормов очень широк: себестоимость живых микроводорослей выше, чем концентратов.

Широкое применение нашли водорослевые пасты, которые используют для кормления спата моллюсков. Такая форма корма удобна в использовании в неблагоприятные для роста водорослей сезоны. Концентраты микроводорослей не являются «живыми» водорослевыми культурами, и поэтому их невозможно использовать для дальнейшего культивирования. Видовой состав производимых концентратов значительно шире, чем состав живых водорослей, выращиваемых в питомниках, что обеспечивает разнообразие рациона для спата. Однако следует отметить, что концентрированные корма не могут заменить живые микроводоросли, особенно на ранних стадиях развития личинок, так как их качественный состав (содержание белка и ПНЖК) значительно ниже, чем в живых микроводорослях [6].

Таким образом, проведенный анализ показывает актуальность и практическую значимость исследований по культивированию микроводорослей в биотехнологии двустворчатых моллюсков. Детализация условий культивирования, изучение биохимического состава, обоснование способов консервации микроводорослей позволит разработать масштабируемые способы производства кормов для марикультуры двустворчатых моллюсков.

Список использованной литературы

1. Авсиян А.Л. Ростовые характеристики *Phaeodactylum tricornutum bohlin* при непрерывном освещении и свето-темновых циклах // Бюл. Гос. Никитского бот. сада. – 2012. – Вып. 105. – С. 125–129.
2. Божков А.И., Комаристая В.П. Липидно-каротиноидный обмен в клетках *Dunaliella Teod.* при различных условиях культивирования // Альгология. – 2003. – Т. 13, № 2. – С. 137–147.
3. Бородина А.В., Ладыгина Л.В. Влияние условий культивирования *Phaeodactylum tricornutum Bohl. (Bacillariophyta)* на накопление каротиноидов // Альгология. – 2013. – Т. 23, № 2. – С. 138–149.
4. Жондарева Я.Д. Миксотрофный рост *Phaeodactylum tricornutum* на неорганической среде с глюкозой и глицерином в накопительной культуре // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3 т.: сб. материалов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2016. – Т. 3. – С. 378–382.
5. Ладыгина Л.В. Каротиноидный состав микроводорослей – корма для двустворчатых моллюсков // Альгология. – 2010. – Т. 20, № 1. – С. 33–41.
6. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Черном море / под. ред. В.Н. Еремеева. – Севастополь: Нац. академия наук Украины, Ин-т биол. южных морей им. А.О. Ковалевского, 2010. – 424 с.
7. ФАО. 2018. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2018 – Достижение целей устойчивого развития. Рим. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
8. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids: Biosynthesis and Metabolism. — Basel: Birk. Verlag, 1998. – Vol. 3. – 414 p.
9. Chen, M., Tang, H., Ma, H., Holland, T. C., Ng, K. Y. & Salley, S. O. Effect of nutrients on growth and lipid accumulation in the green algae *Dunaliella tertiolecta*//Bioresour. Technol 2011. – Vol. 102. – P. 1649–1655.
10. García M.C., Camacho F.G, Miron A.S., Sevilla J.M.F., Chisti Y., Grima E.M.. Mixotrophic production of marine microalga *Phaeodactylum tricornutum* on various carbon sources // J. Microbiol. Biotechnol. – 2006, 16(5). – P. 689–694.
11. Garam Kim, Ghulam Mujtaba, Kisay Lee. Effects of nitrogen sources on cell growth and biochemical composition of marine chlorophyte *Tetraselmis sp.* for lipid production // Algae 2016. – Vol. 31(3). – P. 257–266.
12. Li, Y., Horsman, M., Wang, B., Wu, N. & Lan, C. Q. Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga Neochloris oleoabundans. Appl.Microbiol. Biotechnol 2008. – Vol. 81. – P. 629–636.
13. Li, T., Zheng, Y., Yu, L. & Chen, S. High productivity cultivation of a heat-resistant microalga *Chlorella sorokiniana* for biofuel production // Bioresour. Technol. – 2013. – Vol. 131. – P. 60–67.
14. Maoka T. Structural studies of natural carotenoids by our research group during the three decade // Caroten. Sci. – 2009. – № 14. – P. 26–36.
15. Meiser A., Schmid-Staiger U., Trösch W. Optimization of eicosapentaenoic acid production by *Phaeodactylum tricornutum* in the flat panel airlift (FPA) reactor // J. Appl. Phycol. – 2004. – Vol. 16. – P. 215–225.
16. Mouna Dammak, Sandra Mareike Haase, Ramzi Miladi, Faten Ben Amor, Mohamed Barkallah, David Gosset,Chantal Pichon, Bernhard Huchzermeyer, Imen Fendri, Michel Denis, Slim Abdelkafi. Enhanced lipid and biomass production by a newly isolated and identified marine microalga // Lipids in Health and Disease. – 2016. – Vol. 15. – P. 13.
17. Peipei Zhao, Wenhui Gu, Songcui Wu, Aiyou Huang, Linwen He, Xiujun Xie, Shan Gao, Baoyu Zhang, Jianfeng Niu, A. Peng Lin, Guangce Wang. Silicon enhances the growth of *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin under green light and low temperature // Scientific Reports. – 2014. – Vol. 4. – P. 1–10.

18.Peng J., Yuan J., Wu C., Wang J. Fucoxanthin a Marine Carotenoid Present in Brown Seaweeds and Diatoms: Metabolism and Bioactivities Relevant to Human Health // Mar. Drugs. – 2011. – № 9. – P. 1806–1828.

19.Roopnarain, A., Sym, S. & Gray, V. M. Effect of nitrogenous resource on growth, biochemical composition and ultrastructure of *Isochrysis galbana* (*Isochrysidales, Haptophyta*) // Phycol. Res. – 2015. – Vol. 63. – P. 43–50.

20.Ruangsomboon, S. Effects of different media and nitrogen sources and levels on growth and lipid of green microalga Botryococcus braunii KMITL and its biodiesel properties based on fatty acid composition // Bioresour. Technol. – 2015. – Vol. 191. – P. 377–384.

21.Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambert, A. Commercial applications of microalgae // J. Biosci. Bioeng. – 2006. – Vol. 101. – P. 87–96.

22.Teresa M. Mataa, António A. Martinsa, Nidia. S.Caetanob. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14, Issue 1, January. – P. 217–232.

23.Viso A.C., Marty J.C. Fatty acids from 28 marine microalgae // Phytochemistry. – 1993. – Vol. 34, № 6. – P. 1521–1523.

S.E. Leskova, N.N. Kovalev
The Far Eastern State Technical Fisheries University,
Vladivostok, Russia

MICROALGAE AS OBJECTS OF NUTRITION FOR AQUACULTURE

The article is devoted to unicellular algae, which are a forage object for aquaculture. The published data on the biochemical composition of microalgae, the optimal conditions for their cultivation, and the role of this object in aquaculture are presented.

Сведения об авторах: Лескова Светлана Евгеньевна, канд. биол. наук, e-mail: svetaleskova@mail.ru;

Ковалев Николай Николаевич, доктор биол. наук, профессор, e-mail: kovalevnn61@ yandex.ru