

## **СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

### **«РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АКВАКУЛЬТУРЫ» (КОНФЕРЕНЦИЯ «АКВАКУЛЬТУРА 2023»)**

с применением дистанционных технологий

с. Дивноморское,  
4 – 10 сентября 2023 г.

Донской государственный технический университет  
г. Ростов-на-Дону  
2023

---

## **COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS**

III INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

### **"DEVELOPMENT AND MODERN PROBLEMS OF AQUACULTURE" ("AQUACULTURE 2023" CONFERENCE)**

using remote technologies

Divnomorskoye,  
September 4 – 10, 2023

Ростов-на-Дону | Rostov-on-Don  
2023

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Б.Ч. Месхи** – ректор Донского государственного технического университета, член-корреспондент Российской академии образования, д-р техн. наук, профессор

**Г.Г. Матишов** – заместитель президента Российской академии наук, член президиума Российской академии наук, академик Российской академии наук

**С.В. Бердников** – директор Южного научного центра Российской академии наук, д-р геогр. наук

**Мин Тзе Лионг** – профессор школы промышленных технологий по технологии биопроцессов, Университет Малайзии, Малайзия, PhD

**А.В. Невредин** – руководитель Евразийского аквакультурного альянса, руководитель комиссии по аквакультуре, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (ООН)

**Е.Н. Пономарёва** – главный научный сотрудник Южного научного центра Российской академии наук, д-р биол. наук, профессор

**Д.В. Рудой** – руководитель специализированной организации территориального кластера «Долина Дона» Ростовской области, декан факультета «Агропромышленный» ДГТУ, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агробιοтехнологии» ДГТУ, канд. техн. наук, доцент

**А.В. Ольшевская** – заместитель декана факультета «Агропромышленный» ДГТУ, заместитель руководителя Центра развития территориального кластера «Долина Дона» ДГТУ, доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса» ДГТУ, канд. техн. наук

**М.Ю. Одабашян** – старший научный сотрудник «Центра агробιοинженерии эфиромасличных и лекарственных растений», старший преподаватель кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса» ДГТУ, канд. биол. наук (отв. ред.)

P17 **Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция «Аквакультура 2023»):** сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции (с. Дивноморское, 4 – 10 сентября 2023 г.) / ред. кол. Б.Ч. Месхи [и др.]; ДГТУ – Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2023. – 145 с.

ISBN 978-5-6050870-1-4

Сборник опубликован по результатам III Международной научно-практической конференции «Развитие и современные проблемы аквакультуры», проводимой факультетом «Агропромышленный» Донского государственного технического университета, и предназначен для специалистов в области аквакультуры, охраны водных ресурсов, селекции и генетики, а также обучающихся соответствующих специальностей, и для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками в этой области.

В сборнике содержатся материалы, отражающие многогранный подход к изучаемой тематике. Рассмотрены такие темы, как биоремедиация и фитоценозы, выращивание радужной форели и осетроводство, лекарства и корма для рыб, применение криотехнологий и т.д. Широкий круг вопросов свидетельствует о том, что аквакультура была и остаётся в центре внимания научного сообщества и что данная отрасль имеет первостепенное значение не только для хозяйства Юга России и всей страны в целом, а также для мирового научного и производственного сообществ, в рамках конференции объединяющих свои усилия для создания проектов, необходимых для активного развития отрасли, бизнеса и науки.

ISBN 978-5-6050870-1-4

© ДГТУ-Принт, 2023

## МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ИСТОЧНИК БЕЛКОВ И КАРОТИНОИДОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

<sup>1</sup>Мальцева И.А., <sup>2</sup>Мальцев Е.И., <sup>1</sup>Черкашина С.В., <sup>1</sup>Яковийчук А.В., <sup>1</sup>Кочубей А.В.

<sup>1</sup>Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Российская Федерация  
<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Приведен анализ биопродукционных характеристик штаммов *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4. Проанализированы показатели продуктивности биомассы, белка и каротиноидов для использования в качестве кормовых добавок в аквакультуре.

**Ключевые слова.** *Nostoc*, *Chlorococcum*, белок, каротиноиды, хлорофилл, аквакультура.

## MICROALGAE AS A SOURCE OF PROTEINS AND CAROTENOIDS FOR AQUACULTURE

<sup>1</sup>Maltseva I.A., <sup>2</sup>Maltsev Y.I., <sup>1</sup>Cherkashyna S.V., <sup>1</sup>Yakoviichuk A.V., <sup>1</sup>Kochubey A.V.

<sup>1</sup>Melitopol State University, Melitopol, Russian Federation  
<sup>2</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The bioproduction characteristics analysis of the *Nostoc* sp. MI-C84-a and *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 strains was demonstrated. The productivity indicators of biomass, protein and carotenoids were analyzed for use as feed additives in aquaculture.

**Keywords.** *Nostoc*, *Chlorococcum*, proteins, carotenoids, chlorophyll, aquaculture.

Развитие аквакультуры – один из ведущих мировых трендов. Сообщается, что на сегодняшний день продукция, произведенная от аквакультуры, уже приближается к половине объема всей рыбной продукции с ежегодными темпами увеличения на 7–10% (Никифоров-Никишин и др., 2018). В связи с этим растет потребность на корма для аквакультуры и улучшение их качества. Как свидетельствуют последние исследования, биомасса микроводорослей может быть успешно использована в качестве кормовой добавки в рацион питания рыб для повышения питательной ценности кормов (Sathasivam et al., 2019). Большое значение для питания рыб имеет количество белка и каротиноидов в биомассе микроводорослей, что важно не только роста рыб, но и их пигментации и антиоксидантной активности (Cerri et al., 2021). Значительный интерес в этом отношении представляют цианобактерии и зеленые микроводоросли. Зеленые микроводоросли способны накапливать в большом количестве белок и каротиноиды, а цианобактерии благодаря особому составу и структуре клеточной стенки имеют преимущества по доступности внутриклеточных питательных веществ в компонентах аквакормов (Sajjadi et al., 2018; Cerri et al., 2021). Большим количеством белка, а также биологически активных соединений с антиоксидантными функциями известны виды и штаммы *Nostoc* Vaucher ex Bornet et Flahault и *Chlorococcum* Meneghini (Sathasivam et al., 2019). При изучении видового разнообразия почв лесных экосистем Приднепровья и фитопланктона Азовского моря были выделены штаммы *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 Trainor et H.C. Bold (Maltsev, Konovalenko, 2017). Целью настоящего исследования стал первичный скрининг содержания и продуктивности белка и общих каротиноидов в биомассе штаммов *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 для дальнейшей оценки возможности ее использования в качестве кормовых добавок в аквакультуре.

Для оценки ростовых и биохимических характеристик штаммы *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с 150 мл среды Z8 (без азота) и BBM в автотрофных условиях при 23±2 °С. Интенсивность света составляла 5000 лк (70 мкмоль фотонов/(с·м<sup>2</sup>)), режим освещения 16:8 ч (свет/темнота). Изучение биохимических показателей проводили во время стационарной фазы (на 20-й день культивирования). Перед определением биохимических характеристик клетки микроводорослей в каждом варианте отмывали от среды дистиллированной водой, осаждали центрифугированием (4000 об./мин, 10 мин), жидкость над осадком удаляли, осадок использовали для анализа. Содержание белка определяли бицинхониновым

методом по инструкции Olson (2016). Экстракцию проводили 0,1М фосфатным буфером (pH7,5) с добавлением детергента додецилсульфата натрия (0,5 %), предварительно удалив липофильные компоненты этанолом. Содержание суммы каротиноидов (Car) и хлорофиллов *a*, *b* (Chl *a*, *b*) определяли экстрактнофотометрически. В обоих случаях использовали 5 мг отделенной от среды биомассы, которую гомогенизировали в 4 мл ацетона. Для экстракции каротиноидов использовали 100 % ацетон (Dere et al., 1998), хлорофиллов 90% ацетон (Jeffrey, Humphrey, 1975). Поглощение экстракта каротиноидов измеряли при 470 нм, хлорофиллов – 664 и 647 нм что соответствует максимуму поглощения для Car, Chl *a*, *b*. Полученные оптические плотности конвертировали в количественные показатели используя уравнения, описанные в методиках (Dere et al., 1998; Jeffrey, Humphrey, 1975). Все измерения проводились в трех повторностях. Для выявления закономерностей изменения содержания белка и пигментов у микроводорослей и цианобактерий был применен анализ главных компонент (Principal components analyses – PCA) (Statistica 7.0).

Исследованные штаммы отличаются по продуктивности биомассы, содержанию белка, хлорофиллов и каротиноидов (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность биомассы, содержание белка, хлорофиллов, каротиноидов и их продуктивность у *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-a

Показатель	Культура	
	<i>Chlorococcum oleofaciens</i> MZ–Ch4	<i>Nostoc</i> sp. MI-C84-a
Продуктивность биомассы, мг/л×день	386,67±12,56	252,14±9,21
Содержание белка, % сухой биомассы	41,40±2,26	13,53±1,08
Продуктивность белка, мг/л×день	56,26±4,21	34,11±2,01
Содержание Chl <i>a</i> , мг/г	1,75±0,09	6,15±0,21
Содержание Chl <i>b</i> , мг/г	0,48±0,01	–
Содержание Car, мг/г	87,04±5,10	25,3±2,17
Продуктивность Chl <i>a</i> , мг/л×день	0,68±0,07	1,55 ±0,12
Продуктивность Chl <i>b</i> , мг/л×день	0,19±0,03	–
Продуктивность Car, мг/л×день	33,65±2,14	6,37±0,87

Концентрация белка у *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 практически втрое больше, чем у *Nostoc* sp. MI-C84-a. Предыдущие работы подтверждают, что биомасса различных видов и штаммов микроводорослей и цианобактерий отличается по содержанию белка (Loaiza et al., 2016; Sathasivam et al., 2019). Указывается, что различия могут быть обусловлены генетическими и экологическими особенностями, а также условиями культивирования (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Le´on-Vaz et al., 2023). По количеству накапливаемого белка штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 превосходит такие виды как *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald, которые известны высокой продуктивностью многих ценных метаболитов (Vanags et al., 2015; Karthika et al., 2018), но накапливающие только 2,8% и 4,7% белка соответственно (Кирпенко, Курейшевич, 2010). Однако исследованный штамм уступает штаммам *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Graesiella emersonii* (Shihira et R.W.Krauss)

H.Nozaki et al., *Ettlia oleobundans* (S.Chantanachat & Bold) J.Komárek, содержащих до 58%, 63% и 65% белка в биомассе соответственно (Sajjadi et al., 2018). Сравнительный анализ с другими видами и штаммами *Chlorococcum* показал, что исследуемый штамм производит больше белка, чем *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11, *Chlorococcum* sp. USMAC 4, *Chlorococcum* sp. cf. *hypnosporum* D28Z, D37Z, D65Z, D76Z, содержащих 13-35% белка, однако уступает *Chlorococcum amblystomatis* (F.D.Lambert ex N.Wille) N.Correia, J.Varela et Leonel Pereira, который накапливает белка 56,67-73,45 % (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Fatini et al., 2021; Correia et al., 2023). На примере *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11 показано, что увеличение концентрации азота с 1мМ до 10мМ в среде культивирования приводило к увеличению содержания белка с 13% до 35% (Del Río et al., 2017). Следует отметить, что при одинаковой концентрации азота в среде культивирования, соответствующей 3мМ, штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4

накапливает 41,4% белка, а *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11 – только 18%. Это свидетельствует о высокой эффективности нового штамма в качестве продуцента белка.

Видам *Nostoc* также присуща большая вариабельность содержания белка. Исследуемый штамм содержал больше белка чем *Nostoc sphaeroides* Kützing ex Bornet et Flahault (Ma, 2015), но уступал *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault, *Nostoc* sp. LS04, *N. linckia* Bornet ex Bornet et Flahault, синтезирующих до 20,3–43,0%, 31,06–41,33% и 36,8–55,5 % белка соответственно (Sajjadi et al., 2018; Silambarasan et al., 2021; Touloupakis et al., 2022). При этом продуктивность биомассы *Nostoc* sp. MI-C84-а выше чем у *Desmonostoc muscorum* (Bornet et Flahault) Hrouzek et Ventura, *Nostoc calcicola* Brébisson ex Bornet et Flahault, *Nostoc* sp. LS04, накапливающих 88,4 мг/л×день, 91,03 мг/л×день и 131,33 мг/л×день, соответственно (Nagarppan et al., 2020; Silambarasan et al., 2021), и немного уступает *N. linckia* с продуктивностью до 317 мг/л×день (Touloupakis et al., 2022). Накопление белка у *Nostoc* sp. MI-C84-а близко к аналогичным показателям *Nostoc* sp. LS04, который культивировался в среде, содержащей 25–50% городских сточных вод (Silambarasan et al., 2021).

Пигменты микроводорослей и цианобактерий благодаря биоактивным свойствам нашли широкое применение в производстве кормов (Pagels et al., 2021). Штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 характеризовался низким содержанием хлорофиллов (*a* и *b*) по сравнению с *Nostoc* sp. MI-C84-а, но высокой концентрацией и продуктивностью каротиноидов (Табл. 1). Многие исследования подтверждают, что каротиноиды обладают высокой антиоксидантной способностью, действуют как гасители свободных радикалов и могут предотвращать образование свободных радикалов за счет прерывания реакций окисления (Sirohi et al., 2022; Baracho, Lambardi, 2023; Le 'on-Vaz et al., 2023). Концентрация каротиноидов в микроводорослях и цианобактериях обычно низкая, но некоторые виды могут накапливать их в значительных количествах (Sathasivam et al., 2019). Среди зеленых микроводорослей хорошими источниками каротиноидов считаются *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, *Haematococcus lacustris* (Girod-Chantrons) Rostafinski (Han et al., 2013). В последнее время сообщается, что каротиноидами богата биомасса и других видов зеленых микроводорослей. Среди них указываются *Chromochloris zofingiensis* (Dönz) Fucíková et L.A.Lewis, *Coelastrella striolata* Chodat, виды *Scenedesmus* Meyen, а также некоторые *Chlorococcum* (Sathasivam et al., 2019; Sirohi et al., 2022). Полученные результаты превышают известные для некоторых других видов и штаммов *Chlorococcum*, а также сопоставимы с продуктивностью каротиноидов других известных продуцентов каротиноидов: *Scenedesmus* sp. CICALA 1074 и *Haematococcus lacustris*, накапливающих лютеин и астаксантин в количестве до 19,7 и 17,0 мг/л×день соответственно (Han et al., 2013; Sirohi et al., 2022).

Есть данные, что цианобактерии также могут синтезировать в больших количествах каротиноиды. Например, *Cyanobium* sp. и *Arthrospira platensis* Gomont накапливают каротиноидов до 32,0 и 23,2 мг/г сухой биомассы (Pagels et al., 2021). Исследованный штамм *Nostoc* sp. MI-C84-а синтезировал каротиноидов до 25,3 мг/г, что значительно выше, чем у видов *Nostoc sphaeroides*, *N. verrucosum*, *N. commune*, в биомассе которых было только 0,5-1,69 мг/г каротиноидов (Deng et al., 2008; Sakamoto, 2011). При этом такая продуктивность каротиноидов достигнута без добавления в питательную среду соединений азота. Это уменьшает затраты на получение биомассы для промышленных целей и может стать привлекательной стратегией для получения биомассы цианобактерий.

Для выявления возможных закономерностей между условиями культивирования и накоплением белка, хлорофилла и каротиноидов в биомассе штаммов *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-а, а также определения из них наиболее важных для дальнейшего изучения был использован метод главных компонент (PCA). В анализ также были вовлечены данные по другим видам *Chlorococcum* и *Nostoc* представленные в проанализированных публикациях (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Babadi, 2020; Silambarasan et al., 2021; Touloupakis et al., 2022; Correia et al., 2023). В результате проведенного анализа было выделено два основных компонента (PC), которые составляют 96,17% общей дисперсии (Рис. 1).

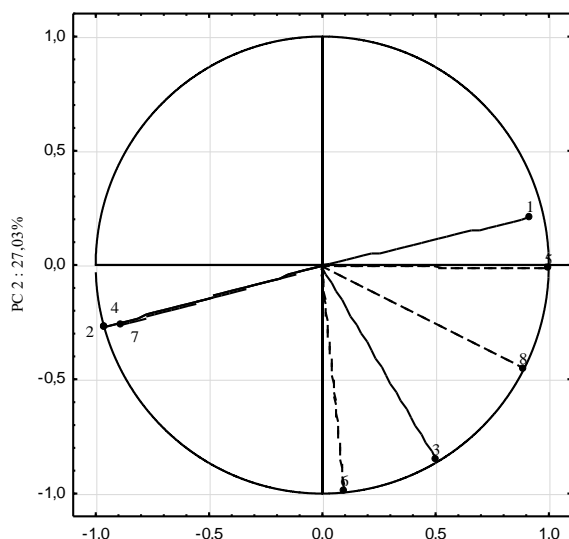


Рисунок 1 - Проекция исходных переменных на плоскость PC1 и PC2: 1 – продолжительность культивирования (дни); 2 – объем культур (л); 3 – общий азот (г/л); 4 – интенсивность света (мкмоль фотонов/(с×м<sup>2</sup>)); 5 – продуктивность биомассы (мг/л×день); 6 – содержание белка (% сухой биомассы); 7 – содержание хлорофиллов (мг/г сухой биомассы); 8 – содержание каротиноидов (мг/г сухой биомассы)

PC1 охватывает 69,14% общей дисперсии и связан положительными коэффициентами корреляции с такими переменными как продолжительность культивирования, продуктивность биомассы, содержание каротиноидов и в меньшей степени – с концентрацией общего азота в среде культивирования. Такие переменные, как объем культуры, интенсивность света и содержание хлорофилла связаны отрицательными коэффициентами корреляции с PC1. PC2 охватывает 27,03% общей дисперсии и связан с такими переменными как содержание общего азота в среде культивирования и содержание белка в биомассе микроводорослей и цианобактерий, причем отрицательной связью. Интересные закономерности были выявлены при анализе отдельных коэффициентов корреляции между содержанием белка и пигментов и условиями культивирования в пространстве новых переменных PC1 и PC2. Содержание белка положительно коррелирует с концентрацией общего азота в среде культивирования (0,87), содержание хлорофилла – положительно с интенсивностью света (0,91) и объемом культуры (0,91), а отрицательно – с продолжительностью культивирования (-0,78). Содержание каротиноидов демонстрирует положительную корреляцию с концентрацией общего азота в среде культивирования (0,83) и продолжительностью культивирования (0,74).

В результате первичного скрининга оценена способность *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI–C84-а продуцировать белок и каротиноиды. Штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 характеризовался большей продуктивностью белка и каротиноидов в сравнении с рядом видов зеленых микроводорослей, а также штаммов *Chlorococcum* биотехнологическая ценность которых уже хорошо описана. Штамм *Nostoc* sp. MI–C84-а продемонстрировал высокую перспективность как источник каротиноидов. Содержание каротиноидов в его биомассе превышало известное для других видов *Nostoc* практически в 15 раз. Это подтверждает перспективность использования данных штаммов в составе аквакормов и целесообразность дальнейшего комплексного изучения биохимического состава *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI–C84-а а поиска условий культивирования, способствующих дополнительному повышению их продукционных характеристик.

#### Список использованных источников

1. Baracho D.H., Lambardi A.T. Study of the growth and biochemical composition of 20 species of cyanobacteria cultured in cylindrical photobioreactors // Microbial Cell Factories. 2023. Vol. 22(36). doi:10.1186/s12934-023-02035-z.
2. Chemical composition and apparent digestibility of a panel of dried microalgae and cyanobacteria biomasses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)/ Cerri R., Nicolai A., Cardinaletti G, Tulli F.,

Mina F., Daniso E., Bongiorno T., Chini Zittelli G., Biondi N., Tredici M.R., Tibaldi E. // *Aquaculture*. 2021. Vol. 544. 737075. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.737075.

3. Colony development and physiological characterization of the edible blue-green alga, *Nostoc sphaeroides* (Nostocaceae, Cyanophyta) / Deng Z., Hu Q., Lu F., Liu G., Hu Z. // *Progress in Natural Science*. 2008. Vol. 18(12). P. 1475-1483. doi:10.1016/j.pnsc.2008.03.031.

4. Cultivation of *Nostoc* sp. LS04 in municipal wastewater for biodiesel production and their deoiled biomass cellular extracts as biostimulants for *Lactuca sativa* growth improvement / Silambarasan S., Logeswari P., Sivaramakrishnan R., Kamaraj B., Lan Chi N. T., Cornejo P. // *Chemosphere*. 2021. Vol. 280(7). 130644. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.130644.

5. Dere Ş., Güneş T., Sivaci R. Spectrophotometric determination of chlorophyll - A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents // *Turkish Journal of Botany*. 1998. №22. P. 13–16.

6. Effects of light intensity and quality on phycobiliprotein accumulation in the cyanobacterium *Nostoc sphaeroides* Kützing / Ma R., Lu F., Bi Y., Hu Z. // *Biotechnol Letters*. 2015. Vol. 37(8). P. 1663-1669. doi:10.1007/s10529-015-1831-3.

7. Exploring Nordic microalgae as a potential novel source of antioxidant and bioactive compounds / León-Vaz A., León R., Vigarra J., Funk C. // *New Biotechnology*. 2023. Vol. 73. P. 1-8. doi:10.1016/j.nbt.2022.12.001.

8. Fatini M.A., Basri E.M., Wan Maznah W.O. Effect of different nitrogen sources on cell growth and biochemical compositions of *Chlorococcum* sp. cultivated under laboratory conditions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 711(1), 012010. doi:10.1088/1755-1315/711/1/012010.

9. Growth and photosynthetic performance of *Nostoc linckia* (formerly *N. calcicola*) cells grown in BG11 and BG11<sub>0</sub> media / Touloupakis E., Zittelli G.C., Benavides A.M.S., Torzillo G. // *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2023. Vol. 22(4). P. 795-807. doi:10.1007/s43630-022-00353-6.

10. Han D., Li Y., Hu Q. Astaxanthin in microalgae: pathways, functions and biotechnological implications // *Algae*. 2013. Vol. 28(2). P. 131-147. doi:10.4490/algae.2013.28.2.131.

11. Heterotrophic and Photoautotrophic Media Optimization Using Response Surface Methodology for the Novel Microalga *Chlorococcum amblyostomatis* / Correia N., Pereira H., Schulze P.S.C., Costa M.M., Santo, G.E., Guerra I., Trovão M., Barros A., Cardoso H., Silva J.L. (Ed.) // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(4). 2089. doi:10.3390/app13042089.

12. Identification of carotenoids and chlorophylls from green algae *Chlorococcum humicola* and extraction by liquefied dimethyl ether / Babadi F. E., Boonnoun P., Nootong K., Powtongsook S., Goto M., Shotipruk A. // *Food and Bioprocess Technology*. 2020. Vol. 123 P. 296-303. doi:10.1016/j.fbp.2020.07.008.

13. Influence of Light Intensity and Temperature on Cultivation of Microalgae *Desmodesmus Communis* in Flasks and Laboratory-Scale Stirred Tank Photobioreactor / Vanags J., Kunga L., Dubencovs K., Galvanuskas V., Grīgs O. // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2015. N 2. P. 59-70. doi: 10.1515/LPTS-2015-0012.

14. Jeffrey S.W. Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochimie Und Physiologie Der Pflanzen*. 1975. №167(2). P. 191-194. doi:10.1016/s0015-3796(17)30778-3.

15. Karthika S. M., Thasnim P.M., Harilal C.C. Growth standardization studies on *Monoraphidium contortum* cultured under pH specific conditions in Bolds Basal medium // *Journal of Algal Biomass Utilization*. 2018. Vol. 9(1). P. 19-25. doi:10.1155/2023/6626962.

16. Maltsev Y. I., Konovalenko T. V. New finding of green algae with potential for algal biotechnology, *Chlorococcum oleofaciens* and its molecular investigation // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 8(4). P. 532-539. doi:10.15421/021782 2017.

17. Metabolites of interest for food technology produced by microalgae from the Northeast Brazil / Sassi K.K.B., Silva J. A., Calixto C.D., Sassi R., Sassi C.F.C. // *Revista Ciência Agronômica*. 2019. Vol. 50(1). P. 54-65. doi:10.5935/1806-6690.20190007.

18. Microalgae for oil. Assessment of fatty acid productivity in continuous culture by two high-yield strains, *Chlorococcum oleofaciens* and *Pseudokirchneriella subcapitata* / Del Río E., García-Gómez E., Moreno J., Guerrero M. G., García-González M. // *Algal Research*. 2017. Vol. 23(2). P. 37-42. doi:10.1016/j.algal.2017.01.003.

19. Microalgae lipid and biomass for biofuel production: A comprehensive review on lipid enhancement strategies and their effects on fatty acid composition / Sajjadi B., Chena W.Y., Raman A.A., Ibrahim S. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 97. P. 200–232. doi:10.1016/j.rser.2018.07.050.

20. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine / Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd Allah EF. // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019. Vol. 26. P. 709-722. doi:10.1016/j.sjbs.2017.11.003.
21. Microalgal Carotenoids: Therapeutic Application and Latest Approaches to Enhance the Production / Sirohi P., Verma H., Singh S.K., Singh V.K., Pandey J., Khusharia S., Kumar D., Kaushalendram, Teotia, P., Kumar A. // *Current Issues in Molecular Biology*. 2022. Vol. 44(12). P. 6257-6279. doi.:10.3390/cimb44120427.
22. Nitrogen-fixing cyanobacteria as a potential resource for efficient biodiesel Production / Nagappana S., Bhosaleb R., Nguyenc D. D., Pugazhendhie A., Tsaif P.C., Changd S. W., Ponnusamyf V. K., Kumari G. // *Fuel*. 2020. Vol. 279. 118440. doi:10.1016/j.fuel.2020.118440.
23. Nutritional quality of biomass from four strains of Nostoc and Anabaena grown in batch cultures / Rosales-Loaiza N., Aiello-Mazzarri C., Gómez L., Arredondo B., Morales E. // *International Food Research Journal*. 2017. Vol. 24(5). P. 2212-2219.
24. Olson B.J.S.C. Assays for Determination of Protein Concentration // *Current protocols in pharmacology*. 2016. Vol. 73(1). P. A.3A.1-A.3A.32. doi:10.1002/cpph.3
25. Pagels F., Vasconcelos V., Guedes A.C. Carotenoids from Cyanobacteria: Biotechnological Potential and Optimization Strategies // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11(5). P. 735. doi:10.3390/biom11050735
26. The extracellular-matrix-retaining cyanobacterium *Nostoc verrucosum* accumulates trehalose, but is sensitive to desiccation / Sakamoto T., Kumihashi K., Kunita S., Masaura T., Inoue-Sakamoto K., Yamaguchi M. // *FEMS Microbiology Ecology*. 2011. Vol. 77(2). P. 385-394. doi:10.1111/j.1574-6941.2011.01114.x.
27. Кирпенко Н.И., Курейшевич А.В. Содержание белка в биомассе монокультур и смешанных культур водорослей // *Альгология*. 2010. Т. 20, N 2 С. 167-175.
28. Никифоров-Никишин А.Л., Глебова И.А., Шатохин М.В. Аквакультура: состояние и значение отрасли для экономики России // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. N 9. С. 267-273.
29. Исследование осуществлено в рамках выполнения государственного задания 1023031000064-6-1.6.2;1.6.3.