

Учреждение образования
«Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета



САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2019 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS 2019: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

Материалы 19-й международной научной конференции

23–24 мая 2019 г.

г. Минск, Республика Беларусь

Электронный локальный ресурс

УДК 504.75(043)

ББК 20.18

C22

Редколлегия:

Батян А. Н., доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Бученков И. Э., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Головатый С. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Голубев А. П., доктор биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Довгулевич Н. Н., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Журавков В. В., кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Иванюкович В. А., кандидат физико-математических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Киевицкая А. И., кандидат технических наук, доктор физико-математических наук,
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Круталевич М. М., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Мишаткина Т. В., кандидат философских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пашинский В. А., кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Плавинский Н. А., кандидат исторических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Сыса А. Г., кандидат химических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Под общей редакцией:

доктора физико-математических наук, профессора *С. А. Маскевича*,
доктора сельскохозяйственных наук, профессора *С. С. Позняка*

C22

Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2019 : environmental problems of the XXI century : материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь : электронный локальный ресурс / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск, 2019. – 170 с.

В сборник включены тезисы докладов по вопросам философии, социально-экономическим и биоэтическим проблемам современности, образованию в интересах устойчивого развития, а также по медицинской экологии и биоэкологии. Рассматриваются аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, решения региональных экологических задач. Уделено внимание экологическому мониторингу и менеджменту, возобновляемым источникам энергии и энергосбережению.

Научные исследования рассчитаны на широкий круг специалистов в области экологии и смежных наук, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учреждений образования.

УДК: 504.75(043)
ББК 20.18

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2019

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СУБСТАНЦИИ ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ КАК ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ

BIOLOGICALLY ACTIVE ALGAE SUBSTANCES AS PREVENTIVE AND MEDICINAL PREPARATIONS

О. И. Боднар, В. В. Грубинко, О. В. Галыняк
O. Bodnar, V. Grubinko, O. Galyniak

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка
г. Тернополь, Украина
bodnar_oi@yahoo.com
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
Ternopil, Ukraine

Изучены биохимические процессы в одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* Biej. при действии соединений селена, цинка и хрома в аквакультуре с целью разработки эффективных способов регуляции метаболизма в направлении активизации липидного обмена и повышенной выработки липидов с включенными в их состав указанными микроэлементами. Проведена оценка биологической активности полученных из этой водоросли элементсодержащих липидных соединений в норме и при диабете 2-го типа в экспериментальных животных.

We investigated the biochemical processes in the unicellular green alga *Chlorella vulgaris* Biej. under the action of selenium, zinc and chromium compounds in aquaculture. The purpose of the development was an effective method of metabolism regulation to the direction of activation lipid metabolism and increased production of lipids with the showed trace elements included in their composition. The biological activity of the zinc-selenium- and chromium-selenium contained lipid compounds from this alga was assessed in normal and in type 2 diabetes in experimental animals.

Ключевые слова: хлорелла, селен, цинк, хром, липиды, биологически активные препараты, диабет.

Keywords: chlorella, selenium, zinc, chromium, lipid, biological active substance, diabetes.

Комплексная оценка механизмов и регуляция на ее основе молекулярно-метаболической адаптации одноклеточных водорослей действием внешних факторов аквакультуре является инновационным подходом современной молекулярной гидробиологии и аквакультуры.

Chlorella vulgaris – модельный объект биохимических исследований и биотехнологии получения полезных продуктов: протеинов, липидов, каротиноидов, витаминов и т. д. [2; 5]. Поэтому, экстракты и препараты из этих водорослей широко используются для получения биологически активных добавок (БАД), фармацевтических и косметических средств, обладающих высокой биологической активностью, способны безопасно и эффективно осуществлять активацию или коррекцию обмена веществ при различных состояниях организма, включая патологии. Позитивные результаты наблюдали относительно повышения антиоксидантного статуса и энергетического метаболизма, мембранотропного эффекта, снижения интоксикации и т.д. [1; 3; 4].

В то же время, высокая способность микроводорослей к биоаккумуляции химических элементов и образования их биокомплексов с внутриклеточными макромолекулами *in vitro* открывает перспективу для получения биологически активных добавок, которые обогащены необходимыми для организма микроэлементами, например, селеном и ионами некоторых биогенных металлов. Существенный аспект в этом вопросе – это потенциальное использование липидов, поскольку детальный анализ научных баз показал, что наибольший интерес вызывают из водорослей именно липиды и жирные кислоты, которые являются сегодня одними из наиболее востребованных для практического использования водорослевых субстанций [2].

Учитывая сказанное, важной и актуальной задачей является установить и обобщить механизмы структурно-функциональных перестроек метаболизма при действии факторов внешней среды (микроэлементов), что позволит регулировать метаболизм у водорослей с целью получения полезных продуктов в аквакультуре [2; 4]. Преимущество использования микроводорослей для синтеза биоактивных молекул заключается в том, что их легко можно выращивать в крупномасштабном производстве с регулируемыми физико-химическими параметрами [2; 3]. Поэтому оптимальное соотношение микроэлементов, которые вносятся в среду культивирования, заранее могут определять направление биохимических реакций и перестройку метаболизма, в частности липидного, что позволяет эффективно и безопасно включать металлы и неметаллы в липиды с целью получения полезных продуктов в условиях аквакультуры. Вместе с тем, важно комплексно оценить адаптивные и физиолого-биохимические процессы в клетках водорослей при действии внешних регуляторов (металлов и неметаллов), которые часто

проявляют чрезмерную активирующее или ингибирующее действие, и убедиться в отсутствии деструктивных изменений в клетках водорослей, включая модификацию генетического аппарата.

Анализом показателей культивирования *Ch. vulgaris* в сконструированном авторском биореакторе при автоматическом контроле оптимально подобранных условий установлено, что максимальной плотности культура водорослей достигала на 18-е сутки с содержанием клеток $26,92 \pm 3,0 \times 10^9$ клеток/л со стабилизацией в стационарной фазе в пределах $11,01 \pm 4,9 \times 10^9$ клеток/л, что позволяет выращивать хлореллу в длительном режиме со средней производительностью около $110,5 \pm 4,1$ мг сухой массы/л с содержанием углеводов около 60 мг, протеинов – 35 мг, липидов – 12 мг массы/л. В природных условиях (летний период) при воздействии солнечной инсоляции максимальную плотность культуры *Ch. vulgaris* наблюдали на 17 сутки культивирования с содержанием клеток $24,8 \pm 1,8 \cdot 10^9$ клеток/л и с количеством клеток в стационарной фазе на 14 сутки в пределах $16,1 \pm 1,2 \times 10^9$ клеток/л. Это позволяет выращивать хлореллу в непрерывном режиме с использованием естественного освещения со средней производительностью биомассы в стационарном режиме около $212,4 \pm 18,1$ мг сухой биомассы/л и содержанием липидов $19,02 \pm 0,4$ мг сухой массы/л. Отметим, что биомасса и количество липидов в хлореллы можно регулировать, используя солнечный свет и вещества-стимуляторы (микроэлементы) биосинтеза отдельных классов органических веществ.

Результаты по накоплению клетками *Ch. vulgaris* и включения селена, цинка и хрома в состав водорослевых липидов показали концентрационную и временную зависимость, что подтверждается кинетическими характеристиками процесса. Оптимальными оказались концентрация селена отдельно (Se (IV) 10,0 мг/л), вместе с цинком (Zn (II) 5,0 мг/л) или хромом (Cr (III) 5,0 мг/л) при продолжительности инкубации культуры в измененной среде в течение 7 суток. В этих условиях, по сравнению с контролем, происходило как увеличение у хлореллы общего количества липидов, так и перераспределение содержания их отдельных классов.

Так, при действии селена отдельно имело место увеличение количества фосфолипидов и уменьшение диацилглицеролов, при совместном действии селена и цинка – увеличение диацилглицеролов, неэстерифицированных жирных кислот и фосфолипидов и уменьшение триацилглицеролов, а при совместном действии селена и хрома наблюдали увеличение триацилглицеролов и неэстерифицированных жирных кислот при одновременном уменьшении диацилглицеролов и фосфолипидов. Кроме этого, эффективно осуществлялось включение микроэлементов в состав всех классов липидов, главным образом в триацилглицеролы: Cr > Se > Zn; диацилглицеролы: Cr > Zn > Se; неэстерифицированные жирные кислоты: Zn > Se > Cr и фосфолипиды: Zn > Cr = Se.

Установлено, что общей тенденцией *Ch. vulgaris* при действии исследованных микроэлементов является снижение включения ^{14}C -бикарбоната в триацилглицеролы и увеличение активности процесса включения метки в фосфолипиды и неэстерифицированные жирные кислоты. Вместе с тем, по интенсивности включения ^{14}C -олеата при действии солей селена, цинка и хрома выявили тенденцию к усилению биосинтеза фосфолипидов и триацилглицеролов и снижение биосинтеза диацилглицеролов, а также, частично, неэстерифицированных жирных кислот. Высокая активность энзима глицерол-3-фосфатацилтрансферазы у *Ch. vulgaris* соотносилась с поддержанием клетками относительного стационарного содержания триацилглицеролов и фосфолипидов. Оптимальные экспериментальные условия культивирования способствовали увеличению доли ненасыщенных жирных кислот C18:1 и C18:2 и уменьшению доли насыщенных C16:0, тогда как содержание C18:0 было в пределах контрольных значений.

Указанный количественный и качественный анализ позволяет установить перспективу моделирования метаболизма в накоплении соответствующих элементов в определенных классах липидов с целью получения препаратов для лечебных и профилактических целей.

Результаты молекулярно-генетического исследования *Ch. vulgaris* выявили отсутствие негативного влияния солей селена, цинка или хрома на генетический аппарат водоросли, на что указывает анализ фрагментов за использование ISSR и IRAP маркеров, который показал уровень их полиморфизма в 38,5 %. Генетические расстояния по Жаккарду (Dj) в контроле были: при действии селена – 0,232, при действии селена и цинка – 0,206, при действии селена и хрома – 0,300. Вероятно, цинк определенным образом модулирует и контролирует накопление генетических изменений в культуре *Ch. vulgaris*, что является подтверждением важности биологического значения этого микроэлемента. Выявленные изменения метаболизма хлореллы при действии экспериментальных факторов также проявляются в пределах нормы реакции.

Исследование энергетического метаболизма *Ch. vulgaris*, как одного из критериев эффективного функционирования и адаптации организмов к факториальным воздействиям, показали, что в условиях накопительной культуры (Se (IV) 10,0 мг/л и Se (IV) 10,0 мг/л + Cr (III) 5, 0 мг/л) увеличение активности цитохрооксидазы (ЦО) и сукцинатдегидрогеназы (СДГ) согласовывалось с уменьшением активности глутаматдегидрогеназы (ГДГ- (НАД (Ф) Н), что подтверждает определяющую роль цикла трикарбоновых кислот (ЦТК) и электронно-транспортной цепи (ЭТЦ) в процессах энергообразования в клетках водоросли. Вместе с тем, при действии Se (IV) 10,0 мг/л + Zn (II) 5,0 мг/л наблюдали снижение активности СДГ и ЦО, что одновременно сопровождалось возрастанием активности ГДГ и показателя соотношения НАДН-ГДГ / НАДФН-ГДГ. Это свидетельствует о вовлечении в цикл Кребса альтернативного энергетического субстрата – глутамата, который превращается в 2-оксоглутарат в процессе восстановительного дезаминирования. Также установлено, что в адаптивной перестройке антиоксидантного статуса клеток *Ch. vulgaris* при действии селенита отдельно, так и совместно

с ионами металлов цинка и хрома, повышается роль глутатиопероксидазы и снижается участие каталазы и супероксиддисмутазы.

Из хлореллы путем последовательной экстракции органическими растворителями и высушиванием получено селенлипидный, селенцикклипидный и селенхромлипидный комплексы, устойчивость состава и структуры которых подтверждено с помощью хроматографического и масс-спектрометрического анализа.

При скармливании здоровым крысам крахмального раствора селенцикклипидного комплекса (1 мл которого содержал 0,4 мкг селена, 2,5 мкг цинка и 0,5 мг липидов) и селенхромлипидного комплекса (1 мл которого содержал 1,85 мкг селена, 1,1 мкг хрома 0 5 мг липидов) интоксикации не обнаружено – общее содержание молекул средней массы (МСМ) снижалось до 1,5 раза, уменьшалось также содержание ТБК-АП (ТБК-активных продуктов) и ДК (диеновых конъюгатов); активизировались антиоксидантные процессы (за счет роста содержания восстановленного глутатиона и активности глутатионпероксидазы (ГПО) при снижении функциональной роли каталазы (КТ)) и энергетические процессы (за счет повышения активности сукцинатдегидрогеназы (СДГ), цитохромоксидазы (ЦО) и глутаматдегидрогеназы (ГДГ)), что способствовало успешному функционированию антиоксидантной системы и поддержанию энергетического и метаболического гомеостаза в организме.

При экспериментальном стрептозотоцининдуцированном диабете (СД 2-го типа) на фоне смоделированного высококалорийной диетой ожирения введение селенхромлипидного комплекса в течение 14 суток засвидетельствовало снижение показателей общей интоксикации, улучшение состояния углеводного и липидного обмена относительно группы крыс с СД (снижение в крови уровня глюкозы и фруктозамина, содержания общего холестерина и липопротеинов низкой плотности). Показатели оксидативного статуса организма крыс по сравнению с данными при СД улучшились: уменьшились содержание ТБК-АП, ДК и АФК, повысилась активность КТ, СОД, ГПО.

Полученные результаты открывают возможность использования биологически активных добавок из хлореллы, обогащенных микроэлементами Se (IV), Zn (II) и Cr (III), как перспективных лечебно-профилактических субстанций, способствующих успешному функционированию антиоксидантной системы, поддержанию энергетического и метаболического гомеостаза в организме для коррекции патологических процессов, что является основанием для дальнейших исследований биологической активности полученных комплексов.

Разработанный способ интенсификации биосинтеза селен-металл-липидных комплексов водорослями предложен впервые. Получение этих микроэлементсодержащих биологически активных соединений из водорослей с эффективными антиоксидантными и профилактическими свойствами и передача этих методик для производства и внедрения соответствующих БАД будет иметь социальный и экономический эффект, учитывая доказанную эффективность исследуемых элементсодержащих липидных комплексов в норме и при патологии и стоимость применяемых в настоящее время в практике других препаратов. Проведенные исследования соотносятся с мировыми подходами [2, 3], однако указанные представители водорослей и способы регуляции биосинтеза липидов в них биологически активной формы селена вместе с биогенными металлами исследованы впервые и превосходят по свойствам традиционные используемые в настоящее время селен-металлсодержащие смеси, содержащие соли неорганических соединений селена и металлов («Биоактив Селен + Цинк», «Персифен», «Инулин с селеном», «Максифам», «ЛАТЛ с Селеном», «Селен с Цинком Актив», «Селен Форте» и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Boettcher, T. S.* Natural products and their biological targets: proteomic and metabolomic labeling strategies / T. S. Boettcher, M. Pitscheider, S. Sieber // *Angew. Chem. Int.* – 2010. – Vol. 49. – No. 15. – P. 2680–2698.
2. *Handbook of microalgal culture : applied phycology and biotechnology* / Eds. A. Richmond, Q. Hu. – Oxford : John Wiley & Sons. – Ltd, 2013. – 726 p.
3. *Hemaiswarya, S.* Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture / S. Hemaiswarya [et. al.] // *World J. Microbiol. Biotechnol.* – 2011. – Vol. 27. – No. 8. – P. 1737–1746.
4. *Schmid, K. M.* Lipid metabolism in plants / K. M. Schmid, J. B. Ohlrogge // *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes.* – Elsevier Science B.V., 2012. – P. 93–126.
5. *Seyfabadi, J.* Protein, fatty acid and pigment content of *Chlorella vulgaris* under different light regimes / J. Seyfabadi, Z. Ramezanzpour, Z. Amini Khoeyi // *J. Appl. Phycol.* – 2011. – Vol. 23. – No. 4. – P. 721–726.

СОДЕРЖАНИЕ

ЧЕТВЕРТЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД И ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

ОНТОЛОГИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ КАК УСЛОВИЕ ЕГО РАЗВИТИЯ	
<i>М. П. Бузский</i>	4
СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ	
<i>А. А. Вербицкая</i>	6
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ	
<i>А. В. Соколова</i>	9
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОЗНАНИЕ И ЗАБОТА О ПРИРОДЕ	
<i>А. З. Черняк</i>	11

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

НЕПРЕРЫВНОЕ УЛУЧШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	
<i>Г. В. Бельская</i>	15
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
<i>В. П. Майкова, Э. М. Молчан</i>	18
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В РЕСПУБЛИКАНСКОМ ЦЕНТРЕ ГОСУ- ДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ МИНПРИРОДЫ	
<i>М. С. Симонюков, Д. А. Мельниченко</i>	20

МЕТОДЫ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СУБСТАНЦИИ ИЗ ВОДОРОСЛЕЙ КАК ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ	
<i>О. И. Боднар, В. В. Грубинко, О. В. Галыняк</i>	24
ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ ЦИКЛООКСИГЕНАЗЫ-2 И ТИРОЗИНКИНАЗНОЙ ФОСФАТАЗЫ У ПАЦИЕНТОВ С РЕЗЕКТАБЕЛЬНЫМ РАКОМ ЖЕЛУДКА ПА-IIIС СТАДИЙ	
<i>О. А. Давыдова-Лойко, Р. М. Смолякова, М. Ю. Ревтович</i>	27
РЕДКИЙ СЛУЧАЙ ГЕМОЛИТИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ НОВОРОЖДЕННОГО, ВСЛЕДСТВИЕ ИЗОИММУНИ- ЗАЦИИ ПО RH"(E)-АНТИГЕНУ СИСТЕМЫ РЕЗУС	
<i>О. А. Платонова, Е. Н. Альферович, Л. В. Грак</i>	30
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА РАЗВИТИЯ ЛУЧЕВЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ У ПАЦИЕНТОВ СО ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ КОЖИ	
<i>О. С. Спиридонова, Е. Э. Константинова, Д. И. Козловский</i>	33
РАЗРАБОТКА ПРЕПАРАТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЦИКЛО-ДИ-АМФ	
<i>К. С. Хмелевская, И. С. Казловский, А. И. Зинченко</i>	36

Научное издание

**«САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2019 ГОДА:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2019:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY**

Материалы 19-й международной научной конференции

23–24 мая 2019 г.

г. Минск, Республика Беларусь

Электронный локальный ресурс

В авторской редакции

Корректоры: Л. М. Корневская, А. В. Красуцкая, Т. А. Лавринович

Компьютерная верстка: М. Ю. Мошкова