

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



САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2024 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS 2024: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

Материалы 24-й международной научной конференции

23–24 мая 2024 г.
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях
Часть 2

Минск
«ИВЦ Минфина»
2024

УДК 504.75(043)

ББК 20.18

С22

Материалы конференции изданы при поддержке
Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований
и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

Редколлегия:

Батян А. Н., доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Головатый С. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Довгулевич Н. Н., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Зафранская М. М., доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пашинский В. А., кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пупликов С. И., кандидат экономических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пухтеева И. В., МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Тушин Н. Н., кандидат технических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Шалькевич П. К., кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Шахаб С. Н., кандидат химических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Под общей редакцией:

доктора биологических наук, доцента *О. И. Родькина*,
кандидата технических наук, доцента *М. Г. Герменчук*

Сахаровские чтения 2024 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov
C22 readings 2024 : environmental problems of the XXI century : материалы 24-й между-
народной научной конференции, 23–24 мая 2024 г., г. Минск, Республика Беларусь :
в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. :
А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра б. н., доцента О. И. Родькина, к. т н., доцента
М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2024. – Ч. 2. – 392 с.
ISBN 978-985-880-458-9.

В сборник включены материалы докладов по вопросам социально-экономических проблем современности, по медицинской экологии и биоэкологии, экологической химии и биохимии, биофизики и молекулярной биологии. Рассматриваются актуальные аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, философских и социально-экологических проблем современности; подготовки специалистов экологического профиля к профессиональной и межкультурной коммуникации. Особое внимание уделено экологическому мониторингу и менеджменту.

Сборник индексируется в библиографической базе данных научных публикаций – РИНЦ. Представленные в нем материалы имеют цифровой идентификатор – DOI.

Публикации 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

ISBN 978-985-880-458-9 (ч. 2)
ISBN 978-985-880-456-5 (общ.)

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2024

бактерий, а значит отсутствовал специфический запах. Грибы обладали приятным свойственным для данного вида запахом, что делает утилизацию бумаги грибом ещё более перспективным способом.

Оставшаяся сухая масса от утилизации бумаги составляла в целом мицелий гриба, что делает остатки пригодными для питания жвачных животных в сельском хозяйстве. Следует сказать, что биоутилизацию можно и нужно использовать для решения экологических проблем, связанных с переработкой бумажных отходов.

Дальнейшие изучения будут направлены на ускорение роста базидиальных грибов на бумажном субстрате с последующим кормлением беспозвоночных животных для производства биогуруса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гранкин, А. Ю. Использование отходов офисной бумаги для производства композиционных материалов / А. Ю. Гранкин, А. А. Савицкий, О. Д. Булавина // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. – 2018. – С. 161–164.

2. Корнеева, В. К. Изучение микроструктуры и химического состава бумаги для оценки моюще-диспергирующих свойств моторного масла методом «капельной пробы» / В. К. Корнеева, В. М. Капцевич, И. В. Спиридович // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: материалы III Международной научной конференции. – 2022. – С. 49–53.

3. Кочунова, Н. А. Роль базидиальных грибов в лесных биогеоценозах разной степени нарушенности (Амурская область) / Н. А. Кочунова // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов. – 2015. – С. 163–167.

4. Заяц, В.С. Протекторная способность экзогенных элиситоров из *Ganoderma lucidum* при индукции солевого стресса у кресс-салата / В.С. Заяц, И.В. Налетов, Е.А. Крюков // Настоящее и будущее биотехнологии растений. Материалы Международной научной конференции, посвященной 65-летию деятельности Отдела биохимии и биотехнологии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», Минск 2023 год. – Минск, 2023. – С. 75.

5. Юницкий, А. Э. Изучение микробиологической солюбилизации бурого угля / А.Э. Юницкий [и др.] // материалы 22-й Международной научной конференции Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь – Минск, 2022. – С. 322–324.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ХЛОРЕЛЛЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *CHLORELLA VULGARIS* С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА, И ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУСПЕНЗИИ В КАЧЕСТВЕ ВИТАМИННОЙ ПОДКОРМКИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

CULTIVATION OF *CHLORELLA VULGARIS* USING GROWTH REGULATORS AND SUBSEQUENT USE OF THE SUSPENSION AS A VITAMIN FEED FOR ANIMALS

А. Э. Юницкий, И. В. Налетов, К. А. Бойко

A. E. Unitsky, I. V. Naletov, K. A. Boiko

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

i.naletov@unitsky.com

Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus

Хлорелла (*Chlorella vulgaris*) – род одноклеточных зелёных водорослей, которые обитают в пресных водоёмах и играют важную роль в обогащении воды кислородом. Хлорелла способна синтезировать все необходимые вещества, включая белки, жиры, углеводы и витамины, также богата макро- и микроэлементами, превосходящими другие растительные культуры. Для повышения эффективности разведения сельскохозяйственных животных зачастую прибегают к обогащению стандартных рационов питания. К числу живых кормовых добавок относится суспензия хлореллы. Работа направлена на изучение возможности ускорения скорости роста *Chlorella vulgaris* с применением стимуляторов роста, а также последующее её применение при кормлении перепелов.

Chlorella (Chlorella vulgaris) is a genus of unicellular green algae that live in fresh water and play an important role in enriching water with oxygen. Chlorella is able to synthesize all essential substances, including proteins, fats, carbohydrates and vitamins, and is also rich in macro- and micronutrients that are superior to other plant crops. To increase the efficiency of farm animals breeding, they often resort to enriching standard diets. Live feed additives include chlorella suspension. The work is aimed at studying the possibility of accelerating the growth rate of Chlorella vulgaris using growth stimulants, as well as its subsequent use in feeding quails.

Ключевые слова: хлорелла обыкновенная, микроводоросль, стимулятор роста, кормовая добавка.

Keywords: *Chlorella vulgaris*, microalgae, growth stimulator, feed additive.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-46-49>

Микроводоросли, включая хлореллу, имеют большой потенциал в качестве альтернативных кормов и кормовых добавок. В качестве добавки в кормах благотворно влияет на рост, иммунитет, антиоксидантную активность и восстановление тканей. Применение хлореллы в рационе птиц улучшает показатели роста и иммунного ответа. Благодаря содержанию полиненасыщенных жирных кислот она способствует развитию нервной системы и стрессоустойчивости, а каротиноиды, являясь антиоксидантами, способствуют здоровью и выживаемости. Суспензия хлореллы также может рассматриваться как природный пробиотик.

Микроводоросли позволяют возместить нехватку зелёных кормов в зимний период содержания животных. Подача суспензии хлореллы через поилки или включение ее в комбикорма помогает восполнить питательные вещества и витамины, что способствует обеспечению биомассы у сельскохозяйственных животных. Рост производительности мяса и яйценоскости обычно составляет 15–20 % [1].

Биохимический состав клеток хлореллы: высокое содержание белка (48,5 %), низкое содержание жира (4,82 %), нуклеиновые кислоты (от 4 до 7 %), витамины и микроэлементы, в том числе высокое содержание витамина С (1300–1500 мг/кг сухого вещества), микроэлементы, (кобальт, медь, марганец, молибден, железо, цинк и йод) и другие ультрамикроэлементы.

C. vulgaris содержит большое количество хлорофилла и каротиноидов. Хлорофилл является основным пигментом, связанным с фотосинтезом в растениях и водорослях, и оказывает положительное воздействие на здоровье человека. Каротиноиды, такие как β-каротин, являются антиоксидантами и могут поддерживать здоровье глаз и иммунной системы позвоночных животных.

Одноклеточная пресноводная водоросль *C. vulgaris* требует для своего роста и развития те же самые компоненты, что и растения. Она нуждается в основных элементах минерального питания, таких как азот, фосфор и калий, а также в различных микроэлементах, включая магний, железо в хелатной форме, медь, марганец, серу и другие. Эти элементы необходимы хлорелле для выполнения различных жизненно важных функций, таких как фотосинтез, обмен веществ и синтез пигментов. Они служат строительными блоками для белков, ферментов и других биологических молекул, необходимых для поддержания роста и развития водоросли [2].

Важно отметить, что требования хлореллы к питательным веществам могут различаться в зависимости от штамма и условий выращивания. Поэтому проводятся исследования и оптимизация условий культивирования для достижения наилучших результатов и оптимального содержания полезных компонентов в *C. vulgaris*.

Исследования направлены на ускорение роста и увеличение численности клеток водоросли при помощи фитогормонов. Сами клетки водорослей способны к синтезу фитогормонов ауксинового комплекса, однако процесс синтеза проходит более сложным путём, ввиду особенностей развития и более примитивного строения по сравнению с семенными растениями.

При проведении эксперимента использовалась стандартная для хлореллы питательная среда Тамия (KNO_3 – 5,0 г/л; MgSO_4 – 2,5 г/л; KH_2PO_4 – 1,25 г/л; FeSO_4 – 0,003 г/л + ЭДТА – 0,037 г/л) в качестве контроля и среды с добавлением различных фитогормонов. Все среды стерильны и внесение клеток *C. vulgaris* производилось в стерильных условиях. В качестве фитогормонов использовались индолил-3-масляная кислота (3-ИМК) – 0,1 мл/л; 3-ИМК – 0,05 мл/л; нафталинуксусная кислота (1-НУК) – 0,1 мл/л; 1-НУК – 0,05 мл/л; 6-бензиламинопурин (6-БАП) – 0,1 мл/л; 6-БАП – 0,05 мл/л; 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4 D) – 0,1 мл/л; 2,4 D – 0,05 мл/л; 0,1 мл/л 2,4 D + 0,1 мл/л 6-БАП 0,1; 0,05 мл/л 2,4 D + 0,05 мл/л 6-БАП; 0,1 мл/л 1-НУК + 0,1 мл/л кинетин; 0,05 мл/л 1-НУК + 0,05 мл/л кинетин.

Концентрация хлореллы фиксировалась ежедневно. Эффективность наработки микроводоросли определялась по величине оптической плотности суспензии [3]. Исходя из показателей оптической плотности, был вычислен коэффициент прироста клеточной биомассы по сравнению со стандартной средой. Темп роста (μ) рассчитывался с использованием формулы:

$$\mu = \frac{\ln \ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right)}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

где N_2 и N_1 это число клеток во времени t_1 и t_2 .

В результате проведения эксперимента можно сделать вывод, что фитогормоны стимулировали рост клеток микроводоросли хлореллы по сравнению с контролем. Лучшего результата удалось достичь при использовании 0,05 мл/л 6-БАП, коэффициент прироста составил 5,15 по сравнению с контролем. Схожими результатами обладал вариант 3-ИМК 0,05 мл/л (коэффициент прироста 4,85), скорость роста при этом была выше у 6-БАП 0,05 мл/л и составила 0,062 ед.опт.пл. в сутки. У контроля составило 0,012 ед.опт.пл. в сутки.

Дополнительное введение фитогормонов, таких как 6-БАП, обеспечивает синтез каротиноидов в микроводорослях *C. vulgaris*. Каротиноиды являются составляющими пигментами различных биологических процессов, включая антиоксидантную активность и защиту от УФ-излучения животных.

В результате проведённых экспериментов было установлено, что только 6-БАП, применённый в концентрации 0,05 мл/л, оказывает стимулирующее воздействие на накопление каротиноидов в *C. vulgaris*. по сравнению с контролем, вариант с добавлением 6-БАП обеспечивает накопление каротиноидов на 60 % больше.

Эти результаты позволяют также использовать стимуляторы роста, в частности 6-БАП для ускорения производства суспензий в биореакторах. Данное утверждение может иметь практическое применение в различных отраслях, включая пищевую, фармацевтическую и косметическую промышленность, где каротиноиды широко используются благодаря своим активным свойствам.

Прирост клеток хлореллы в питательной среде
со стимуляторами роста по отношению к стандартному образцу

Стимуляторы роста, мг/л	Оптическая плотность, ед.опт.пл.	Коэффициент прироста по сравнению со стандартом
Контроль положительный	0,17	-
3-ИМК 0,1 мл/л	0,568	3,34
3-ИМК 0,05 мл/л	0,824	4,85
1-НУК 0,1 мл/л	0,584	3,44
1-НУК 0,05 мл/л	0,581	3,42
6-БАП 0,1 мл/л	0,369	2,17
6-БАП 0,05 мл/л	0,875	5,15
2,4 D 0,1 мл/л	0,475	2,8
2,4 D 0,05 мл/л	0,414	2,44
2,4 D 0,1 мл/л + 6-БАП 0,1 мл/л	0,471	2,77
2,4 D 0,05 мл/л+ 6-БАП 0,05 мл/л	0,296	1,74
1-НУК 0,1 мл/л + кинетин 0,1 мл/л	0,656	3,86
1-НУК 0,05 мл/л + кинетин 0,05 мл/л	0,616	3,62

После выращивания хлореллы с применением 6-БАП было проведено микрофотографирование и высев на селективную среду для микроводорослей с целью установления однородного содержания хлореллы в полученной суспензии. На рисунке рис.1 А представлено увеличенное $\times 40$ изображение клеток из суспензии. Наблюдалась достаточная однородность клеток. Рис. 1 Б указывает на чистоту культуры и отсутствие роста других микроорганизмов.



А. *Chlorella vulgaris* (увеличение окуляра 40 \times)



Б. *Chlorella vulgaris* на твёрдой агаризованной среде в чашке Петри

Рисунок 1 – Культивирование *Chlorella vulgaris*

Для оценки эффективности применения суспензии хлореллы в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных были выбраны перепела тexasкой породы. Промышленное разведение перепелов и их выращивание в фермерских хозяйствах в Республике Беларусь является одной из самых молодых сельскохозяйственных отраслей, и используется с целью получения диетического мяса и яиц. Перепелиные яйца содержат аминокислоты, витамины А, D и группы В, кальций, магний, фосфор, железо, калий, селен, германий и микроэлементы. При выращивании перепелов необходимо учитывать не только направленность породы птиц, но и живую массу, продуктивность птиц, в том числе яйценоскость (с учётом морфофункциональных изменений, протекающих во внутренних органах несушек в период активности яичной продуктивности) и эффективность использования корма. Для повышения эффективности разведения перепелов зачастую прибегают к обогащению стандартных рационов питания, в данном случае – применение суспензии микроводоросли хлореллы.

При проведении исследования перепела были разделены на 2 группы по 17 птиц. Каждая группа состояла из 15 самок и 2 самцов. Содержались перепела в клеточных сооружениях, кормушка крепилась к передней стенке клетки, а поилка – к боковой. Технологические параметры содержания птицы (влажность воздуха, температура, освещённость) соответствовали требованиям, предъявляемым к их выращиванию.

В результате было отмечено увеличение яйценоскости самок птиц на 25 %. Анализируя показатели выяснилось, что абсолютная масса желтка у птиц из анализируемой группы увеличилась до 0,78 г массы, в то время как в контрольной группе она составляла до 0,52 г. Абсолютная масса белка также увеличилась до 0,91 г по сравнению с 0,75 г в контрольной группе. Кроме того, абсолютная масса скорлупы составила

0,52 г в анализируемой группе, в то время как в контрольной группе она была равна 0,27 г. Качество белка устанавливали по данным высоты белка и массы яиц (единица Хау). Было обнаружено, что в анализируемой группе число единиц Хау был выше. На третий день эксперимента он составил 91,8 ед. в анализируемой группе, когда в контрольной группе – 85,2. К десятому дню эксперимента показатель единиц Хау составил 80,6 ед. в анализируемой группе и 70,5 ед. в контрольной группе. Эти результаты свидетельствуют о том, что суспензия хлорелла положительно влияет на улучшения показателей качества.

Было установлено, что перепела, получающие кормовую добавку хлореллы, помимо улучшения общего состояния потребляли, в среднем, на 23 % меньше комбикорма. Таким образом можно утверждать, что добавление к рациону перепелов хлореллы снижает кормовое потребление. Также было обнаружено, что независимо от пола, птицы, которым давали суспензию хлореллы, проявляли большую активность по сравнению с контрольной группой. Также нехватка микроэлементного состава у перепелов контрольной группы проявлялась в деформации суставов.

На основании представленных выше результатов исследований можно сделать вывод о том, что экологически чистая подкормка, полученная из хлореллы обыкновенной *Chlorella vulgaris*, может широко использоваться для кормления животных, в частности птиц, с целью повышения яйценоскости и улучшения качества яиц. Дальнейшие направления в исследованиях будут направлены на подбор и создание питательных сред для культивирования микроводоросли хлорелла с оценкой их эффективности на других сельскохозяйственных животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фисинин В.И. Мировое и российское птицеводство: реалии и вызовы будущего. - М.: Хлебпродинформ, 2019. - 470 с.
2. Кузнецов, Н.А. Использование суспензии *Chlorella vulgaris* (Beijerinck, штамм IBCE C-19) как удобрение и средство защиты растений в органическом сельском хозяйстве / Н.А. Кузнецов, А.И. Козлов, Т.В. Козлова // Современные технологии сельскохозяйственного производства: агрономия, защита растений, технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник научных статей по материалам XXIV Международной научно-практической конференции. – Гродно. – 2021. – С. 145–146.
3. Microspectroscopy of the photosynthetic compartment of algae / V. Evangelista [et al.] // Photochemistry and photobiology. – 2006. – Vol. 82. – №. 4. – P. 1039.

АНАЛИЗ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ (БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ) В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL ACTIVITY OF A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE (HOUSEHOLD APPLIANCES) IN THE FIELD OF AIR AND WATER RESOURCES PROTECTION

Э. И. Садовская¹, С. Е. Головатый¹
S. E. Golovatyj¹, E. I. Sadovskaya¹

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
sadovskayevelina@mail.ru

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus*

Установлено, что предприятие по производству бытовой техники имеет 590 стационарных источников выбросов из них 4 неорганизованных источников выбросов, 244 передвижных источников выбросов. Массовый выброс загрязняющих веществ за 2019–2020 годы составил 48,8 – 48,2 т. Разрешенный выброс загрязняющих веществ составляет 109,11 т в год. Предприятию выдано разрешение на покупку, хранение, продажу, использование для технического обслуживания и ремонта бытовой техники озоноразрушающих веществ. На предприятии общий забор воды в 2022 году составил 294,081 тыс. м³, при разрешении на забор воды в объёме 693 тыс. м³ производственного и 289 тыс. м³ питьевого назначения. Суточное потребление воды предприятием составляет 1505 м³/сут. установлено, что самым водоёмким процессом являются окрасочные производства.

It was established that the enterprise for the production of household appliances has 590 stationary emission sources of which 4 are unorganized sources of emissions, 244 mobile emission sources. The mass emission of pollutants for 2019–2020 was 48.8 – 48.2 tons. The released amount of polluting substances is 109.11 tons per year.

Научное издание

**«САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2024 ГОДА:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2024:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY**

Материалы 24-й Международной научной конференции

23–24 мая 2024 г.
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях
Часть 2

В авторской редакции

Компьютерная верстка М. Ю. Мошкова

Дизайн обложки: иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда
«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 год)

Подписано в печать 06.05.24. Формат 60x84 1/8.
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 49,9. Тираж 50 экз. Заказ 178.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий №1/161 от 27.01.2014, №2/41 от 29.01.2014.

ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск