

Яблонская Елена Карленовна

магистрант

Козубов Алексей Сергеевич

соискатель, ассистент

Мачнева Надежда Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

Яценко Марина Михайловна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И.Т. Трубилина»

г. Краснодар, Краснодарский край

DOI 10.31483/r-168433

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АМИНОКИСЛОТ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA ШТАММ GKO НА НАКОПЛЕНИЕ ПИГМЕНТОВ, АЗОТА И БЕЛКА В БИОМАССЕ

Аннотация: внесение различных биологически активных веществ в питательную среду при культивировании микроводорослей дает возможность управлять физиологическими процессами и изменять метаболизм микроорганизма в нужном биотехнологическом направлении, для увеличения выхода ценных компонентов для фармацевтики, косметологии и пищевой индустрии. В статье представлены результаты исследования влияния различных аминокислот на содержание пигментов, азота и белка в биомассе Хлореллы штамма GKO. Выявлено положительное влияние всех изучаемых аминокислот: увеличение накопление комплекса пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, суммы каротиноидов), азота и сырого протеина.

Ключевые слова: аминокислоты, питательная среда, хлорелла, пигменты, сырой белок, изменение метаболизма, микроводоросли.

Микроводоросль хлорелла обладает уникальным свойством – при изменении питательной среды и внесении определенных компонентов, можно изменять

ее метаболизм и получать вещества, обладающие большой питательной ценностью, увеличивать выход белка, пигментов, масел, хлореллина и т.д. [1; 3; 5].

В нашей работе исследовалось влияние внесения различных аминокислот в классическую среду Тамия для культивирования хлореллы пищевого штамма GKO. Культивирование проводилось при искусственном освещении при температуре 25 °С в течение 4 дней при непрерывном перемешивании на шейкере 130 об/мин. Аминокислоты добавлялись непосредственно в среду перед началом культивирования. Варианты опыта: 1 – контроль (вода), 2 – аргинин, 3 – триптофан, 4 – треонин, 5 – валин, 6 – метионин, 7 – глутамин. После 4 дней культивации микроводорослей далее проводили отстаивание культуральной жидкости, центрифугирование, декантацию надосадочной жидкости и сушку пастообразной биомассы хлореллы до постоянной массы в сушильном шкафу при 80°С 4–5 часов.

Ранее было установлено положительное влияние изучаемых аминокислот на параметры: рост и скорость роста (абсолютная, удельная), флуоресценцию хлорофилла, что свидетельствует об активном накоплении пигментов и, в целом, об активации метаболизма микроводоросли [2; 6–12].

Для анализа фотосинтетических пигментов лиофилизированный и мелкоизмельченный порошок смешивали с 95%-ным этиловым спиртом и небольшим количеством CaCO₃, экстракт отфильтровывали и в полученном растворе измеряют оптическую плотность (D) на спектрофотометре UNICO 1201 (Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений спектрального коэффициента направленного пропускания, %, в спектральном диапазоне свыше 400 до 800 нм включительно составляет ± 0,5) при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения каждого пигмента. Для хлорофилла *a* – это около 665 нм, для хлорофилла *b* – 649 нм, для каротиноидов (суммарно) – 470 нм. Расчет содержания пигментов проводили по уравнениям по трихроматической схеме Ритчи для этанола. Результаты представлены на рисунке 1.

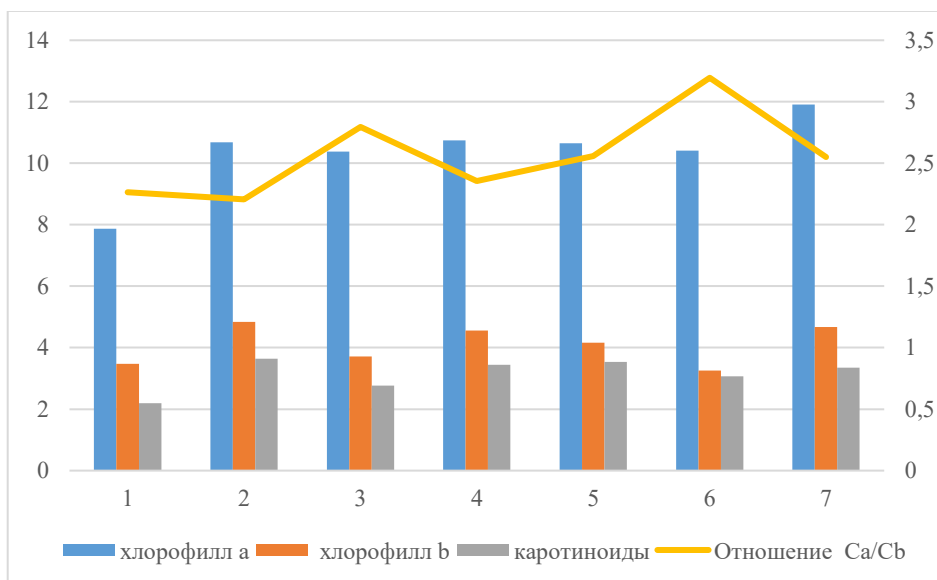


Рис. 1. Содержание пигментов в образцах различных вариантов, мг/г

Воздействие аминокислот носит дифференцированный характер. Глутамин, видимо, выступает мощным индуктором общего биосинтеза тетрапирролов, действуя на уровне активации ранних ферментативных стадий. Аргинин и треонин способствуют формированию высокопродуктивного фотосинтетического аппарата с развитой системой светособирающих антенн. Валин и метионин смещают метаболизм в сторону оптимизации энергетических затрат и повышения стрессоустойчивости, увеличивая долю хлорофилла *a* в структуре пигмент-белковых комплексов и варьируя вклад каротиноидной защиты. Общий характер действия подтверждает гипотезу об участии аминокислот не только как источника минерального азота, но и как сигнальных молекул, регулирующих экспрессию генов раннего светового ответа (*HEMA1*) через TOR-киназный комплекс.

Общий азот в хлорелле определяли методом Кьельдаля с последующим пересчетом на сырой белок используя коэффициент 6,25, согласно общепринятым методикам [2; 4; 8]. Результаты представлены на рисунке 2.

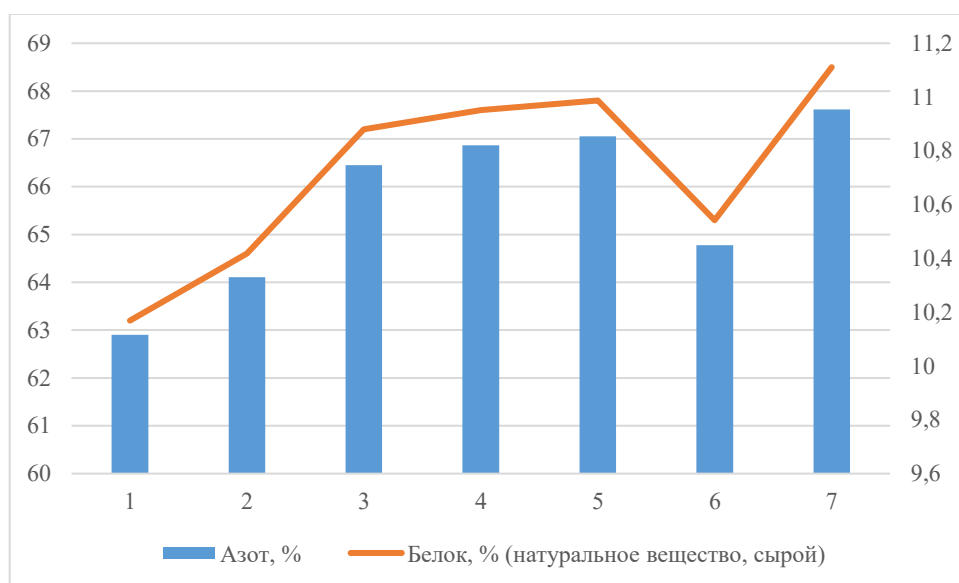


Рис. 2. Содержание азота и белка (сырой протеин) в биомассе хлореллы, %

Установлено, что все аминокислоты достоверно увеличивают биомассу микроводоросли, повышают эффективность фотосинтеза, что видно по изменению содержания величины пигментов (хлорофилла *a*, *b*, и суммы каротиноидов), азота и белка, в сравнении с контролем, что связано с изменением метаболизма микроводоросли, особенно следует выделить варианты 3 – триптофан, 4 – треонин, 5 – валин и 7 – глутамин.

Можно предположить, что именно эти аминокислоты более активно включаются в метаболические пути хлореллы.

Выявленные закономерности позволят оптимизировать биотехнологическое производство биомассы хлореллы. Использование аминокислотных добавок дает возможность управлять составом конечного продукта: варьируя тип аминокислоты, можно смещать метаболизм штамма либо в сторону максимального выхода кормового белка (протеина), либо в сторону накопления ценных биологически активных веществ (каротиноидов).

Наиболее выраженный положительный отклик метаболизма зафиксирован при добавлении треонина, триптофана, валина и глутамина, которые наиболее активно включаются в регуляторные и синтетические пути данного штамма.

Список литературы

1. Афонин А.А. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ AI-11 ARW в лабораторных условиях / А.А. Афонин, Е.Р. Ляпунова, Л.Н. Комарова // Принципы экологии. – 2025. – №1. – С. 4–15. – DOI: 10.15393/j1.art.2025.15842. EDN JFTWLL
2. Богданов Н.И. Способ культивирования микроводорослей на основе штамма «*Chlorella vulgaris* ИФР № С-111». – 2001.
3. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2003. – 256 с.
4. Гайсина Л.А. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие / Л.А. Гайсина, А.И. Фазлутдинова, Р.Р. Кабиров. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. – 152 с. EDN QKTKIL
5. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – М.: Стандартинформ, 2019.
6. Влияние питательной среды на морфологические особенности и жизнеспособность клеток микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijer / В.В. Зайцев, В.В. Петряков, Л.М. Зайцева, Ж.Н. Махимова // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, №2. – С. 52–56. DOI 10.55355/snv2022112107. EDN YBUZYR
7. Ильючик И.А. Динамика фотосинтетических пигментов в культуре водоросли *Chlorella vulgaris* штамма С 111 IBCE С-19 при росте на питательной среде с добавлением хлорида марганца / И.А. Ильючик, В.Н. Никандров // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2020. – Т. 65, №3. – С. 299–309.
8. Сиренко Л.А. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л.А. Сиренко, А.В. Топачевский. – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.
9. Хрулев А.А. Выделение микробиологических и растительных протеинов с помощью центрифуги Flottweg Sedicanter® / А.А. Хрулев, М.М. Аксенов, Н.А. Бесчетникова // Пищевая промышленность. – 2017. – №12. – С. 42–44. EDN YLSQVI

10. Яблонская Е.К. Рост и скорость прироста биомассы *Chlorella* под воздействием экзогенных аминокислот / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – №4 (166). – DOI: 10.60797/IRJ.2026.166.19. EDN ISNCGW

11. Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Интерактив плюс, 2025. – С. 10–12. – DOI: 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX

12. Яблонская Е.К. Замедленная флуоресценция хлорофилла у *Chlorella*: сравнительный анализ зависимости структура-активность / Е.К. Яблонская // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems: сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции (Уфа, 8 мая 2026 года). – Уфа: Вестник науки, 2026. – С. 25–28. – EDN: GZZLOF.

13. Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Технологические суверенитеты современной биотехнологии: сборник статей по материалам Всероссийского саммита советов молодых ученых и студенческих научных объединений (Краснодар, 30 сентября 2025 года). – В 2 ч. Ч. 2. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 520–522. DOI 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX