



БИОТЕХНОЛОГИЯ/BIOTECHNOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.19> EDN: ISNCGWРОСТ И СКОРОСТЬ ПРИРОСТА БИОМАССЫ *CLORELLA* ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭКЗОГЕННЫХ АМИНОКИСЛОТ

Научная статья

Яблонская Е.К.^{1,*}, Мачнева Н.Л.², Гнеуш А.Н.³¹ ORCID : 0000-0003-1043-5879;² ORCID : 0000-0002-7580-5327;³ ORCID : 0000-0003-4931-795X;^{1,2,3} Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (yablonskay[at]mail.ru)

Аннотация

Культивирование микроводорослей является экономически оправданным и стратегически необходимым элементом в биоэкономике России. Особенностью хлореллы является ее способность производить различные биологически ценные компоненты, получаемые путем изменения состава питательной среды. Настоящая статья представляет собой детальное исследование влияния экзогенно введенных аминокислот на ростовые характеристики и продуктивность зелёной микроводоросли *Chlorella*, широко используемой в качестве сырья для биоэнергетики, пищевой промышленности и фармакологии.

Исследование проводилось с целью выявления наиболее эффективных соединений, позволяющих увеличить темпы накопления биомассы и обеспечить повышение выхода целевых продуктов в ходе культивации. Методом экспериментального анализа были оценены эффекты воздействия отдельных аминокислот на физиологическое состояние культур хлореллы, включающих показатели удельной скорости роста, плотность популяций. Проведено сравнение показателей контрольных групп и опытных образцов, обработанных различными концентрациями исследуемых аминокислот. Статистический анализ полученных результатов подтвердил значительное увеличение активности фотосинтетического аппарата, улучшение метаболизма клетки и сокращение продолжительности лаг-фазы, обусловленное действием ряда специфических аминокислот. Полученные данные имеют большое значение для разработки новых технологий культивирования *Chlorella* с повышенной эффективностью, что особенно актуально в рамках растущего спроса на экологически чистые продукты питания и возобновляемые источники энергии.

Эксперимент открывает перспективы оптимизации промышленных процессов культивирования микроводоросли путём целенаправленного подбора питательных сред и режимов культивации, ориентированных на максимальное использование потенциала хлореллы как продуцента ценных биоресурсов.

Ключевые слова: микроводоросли, *Chlorella*, аминокислоты, прирост биомассы, скорость роста, БАВ из водорослей.

GROWTH AND RATE OF *CHLORELLA* BIOMASS GAIN UNDER THE INFLUENCE OF EXOGENOUS AMINO ACIDS

Research article

Yablonskaya E.K.^{1,*}, Machneva N.L.², Gneush A.N.³¹ ORCID : 0000-0003-1043-5879;² ORCID : 0000-0002-7580-5327;³ ORCID : 0000-0003-4931-795X;^{1,2,3} Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (yablonskay[at]mail.ru)

Abstract

The cultivation of microalgae is an economically viable and strategically important element of Russia's bioeconomy. A distinctive trait of *Chlorella* is its ability to produce various biologically valuable compounds by altering the composition of the culture medium. This article presents a detailed study of the effect of exogenously introduced amino acids on the growth characteristics and productivity of the *Chlorella* green microalgae, which is widely used as a raw material in the bioenergy, food and pharmaceutical industries.

The research was conducted with the aim of identifying the most effective compounds for increasing the rate of biomass growth and ensuring a higher yield of target products during cultivation. Using experimental analysis, the effects of individual amino acids on the physiological state of *Chlorella* cultures were evaluated, including specific growth rates and population densities. A comparison was made between the control groups and experimental samples treated with various concentrations of the studied amino acids. Statistical analysis of the results confirmed a significant increase in photosynthetic activity, improved cellular metabolism and a reduction in the duration of the lag phase, due to the action of a number of specific amino acids. The obtained data are of great importance for the development of new technologies for the cultivation of *Chlorella* with increased efficiency, which is particularly relevant in the context of growing demand for environmentally friendly food products and renewable energy sources.

The experiment opens up prospects for optimising industrial microalgae cultivation processes through the targeted selection of culture media and cultivation conditions designed to maximise the potential of *Chlorella* as a producer of valuable bioresources.

Keywords: microalgae, *Chlorella*, amino acids, biomass growth, growth rate, algae BAS.

Введение

На сегодняшний день в мире одним из перспективных биотехнологических направлений для получения целевых продуктов питания животных и человека является микроводоросль *Chlorella* [1], [3], [4], [5]. Культивирование микроводорослей является экономически оправданным и стратегически необходимым элементом в биоэкономике России. Особенностью хлореллы является ее способность производить различные биологически ценные компоненты, получаемые путем изменения состава питательной среды [6], [9], [13], [17].

В сухой биомассе микроводоросли содержится до 55% белка, 25% углеводов, 12% липидов и до 8% минеральных веществ. При изменении концентрации компонентов питательной среды можно получить биомассу широкого спектра состава: 9–88% белка, 5–86% липидов, 6–38% углеводов. Белок микроводоросли по качеству не уступает известным растительным белкам, так как содержит все необходимые аминокислоты, в том числе незаменимые, а также наиболее ценные для человека и животных полиненасыщенные жирные кислоты, такие как арахидоновая, линолевая и линоленовая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая. В литературе описано, что в 100 г общего белка хлореллы содержится: 6,4 г аспарагиновой аминокислоты; 6,2 г глицина; 7,7 г аланина; 7,8 г глутаминовой аминокислоты; 3,3 г серина; 2,8 г триозина; 5,8 г пролина; 0,2 г цистина; 5,5 г валина; 15,8 г аргинина; 3,3 г гистидина; 3,5 г изолейцина; 6,1 г лейцина; 10,2 г лизина; 1,4 г метионина; 2,8 г фенилаланина; 2,9 г треонина; 2,1 г триптофана [1], [2], [3], [4].

Хлорелла содержит природные соединения, обладающие свойствами антибиотиков. Синтезируемый ею комплекс БАВ под названием «хлореллин» уничтожает патогенную микрофлору: в концентрации 1:500000 и 1:1000000 он эффективен против стрептококков, стафилококков, кишечной палочки и возбудителя туберкулеза [14], [15], [16].

Культура хлореллы не особо требовательна к питательной среде и pH, оптимальная температура для роста 20–28 °С, культивируется как при естественном, так и искусственном освещении в лабораторных условиях и не зависит от сезона года. При достижении плотности клеток трех млн/мл проявляются антагонистические свойства к другой альгофлоре, бактериям и инфузориям, по данной причине при культивировании *Chlorella* не требуются стерильные условия [9], [11], [13], [16].

Стойкого цикла развития культура данной микроводоросли не имеет, в культуре развивается в основной массе асинхронно и эту особенность можно использовать для установления процесса синхронизации и соответственно увеличения выхода биомассы. Соответственно, изменяя питательный режим, освещенность и формат культивирования можно получать больший объем не только отдельных необходимых человеку и животным компонентов, но и полноценный суперфуд для питания людей [5], [9], [12], [16].

Аминокислоты рассматривали как потенциальный высокоэффективный нанотехнологичный (очень низкие концентрации) регуляторный инструмент для синхронизации в культуре, повышения скорости роста и увеличения производства биомассы микроводоросли, и в частности глюкогенные [1], [6], [11], [15].

Целью исследований является изучение влияния глюкогенных, кетогенных и смешанного типа генности аминокислот на жизненный цикл хлореллы путем их экзогенного внесения в стандартный питательный раствор Тамия.

Основная часть

Из литературных данных известно, что высокий уровень усвоения питательных веществ различными организмами обеспечивают в первую очередь такие аминокислоты, как глутаминовая кислота, лизин, гистидин, метионин, глицин, которые при сопряжении с микроэлементами образуют хелатные соединения. Положительное влияние на метаболизм растений оказывают валин, триптофан, треонин, серин, пролин, аланин, аденин, аргинин, фенилаланин и тирозин. Они способствуют скорейшему восстановлению в стрессовых ситуациях.

Как известно из курса биохимии и молекулярной биологии, существует много специфических путей катаболизма аминокислот по боковой цепи, но в конечном итоге в процессе жизнедеятельности изучаемой микроводоросли они сходятся к шести продуктам, которые вступают в цикл трикарбоновых кислот и при определенных условиях участвуют опосредовано в синтезе глюкозы и кетонных тел (рис.1).

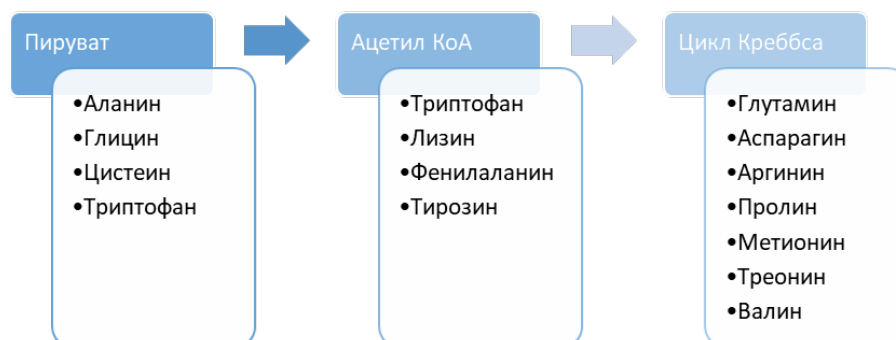


Рисунок 1 - Пути превращения некоторых аминокислот по боковой цепи

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.19.1>



В соответствии с этим для нашего опыта были взяты следующие аминокислоты – глутаминовая кислота (1), аргинин (2), аланин (3), треонин (4), валин (5), лизин (6), глицин (7), метионин (8), триптофан (9), аспарагиновая кислота (10), фенилаланин (11) и пролин (12) в концентрациях 0,001, 0,0001 и 0,00001% по массе.

Аминокислоты вносились отдельно друг от друга в питательную среду непосредственно в начальный момент культивирования культуры микроводоросли Хлореллы. Концентрация по показателю оптической плотности составила 0,6 отн.ед.

В ходе лабораторных исследований проводилось культивирование микроводоросли на питательной среде Тамия. Нарращивание биомассы микроводоросли проводилось в 3-х кратной повторности в течение 3 суток. В течение всего времени культивирования проводилось измерение оптической плотности, которое отражает количество биомассы клеток в 1 мл культуры. Измерения оптической плотности производили через каждые 8 часов (рисунок 2).

Согласно полученным данным установлено, что все внесённые аминокислоты оказали положительное воздействие в данных изучаемых концентрациях на культуру микроводоросли.

В целом установлена положительная динамика влияния протеиногенных аминокислот на рост и развитие культуры микроводоросли. В изучаемой концентрации 0,001% масс. наибольшее влияние на скорость роста и прирост биомассы оказали аминокислоты глутаминовая кислота, аргинин, аланин, треонин, валин, триптофан, аспарагиновая кислота, фенилаланин и пролин.

В изучаемой концентрации 0,0001% масс. наибольшее влияние на скорость роста и прирост биомассы оказали аминокислоты аланин, треонин, валин, триптофан, аспарагиновая кислота, фенилаланин и пролин.

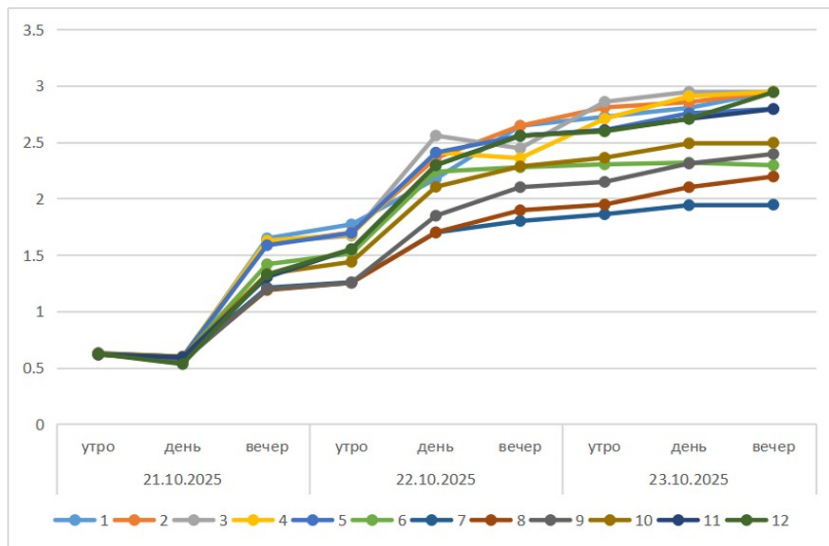
В изучаемой концентрации 0,00001% масс. наибольшее влияние на скорость роста и прирост биомассы оказали аминокислоты глутаминовая кислота, аргинин, аланин, треонин, валин, триптофан, аспарагиновая кислота, фенилаланин и пролин.

Можно сделать вывод о том, что аминокислоты треонин, валин, триптофан, аденин, фенилаланин и пролин независимо от вносимой концентрации, оказывали устойчивый положительный эффект ускорения роста и синхронизации культуры хлореллы.

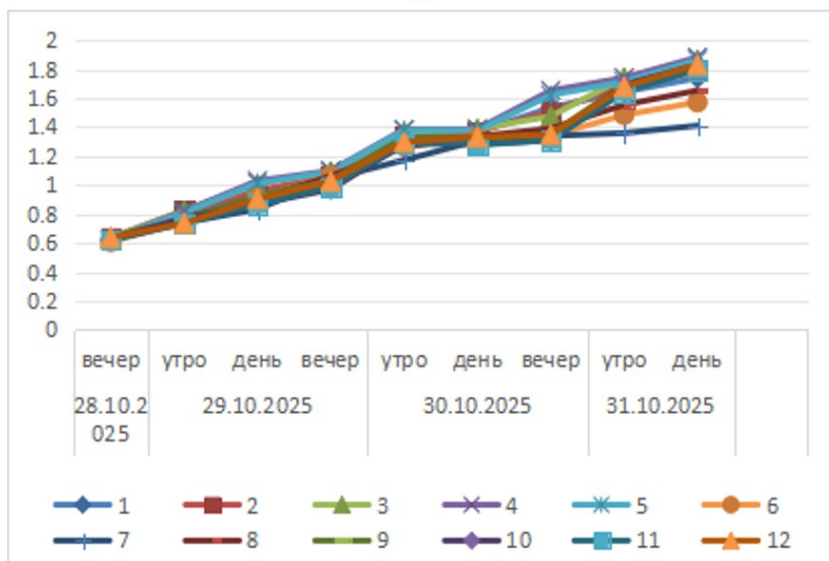
Были рассчитаны средние удельные скорости роста культуры в зависимости от внесённых аминокислот (рисунок 3). Удельную скорость роста водорослей $V_{уд}$ рассчитывали по уравнению (1) [18], [19], [20]:

$$V_{уд} = \ln(D_t - D_0)/t \quad (1)$$

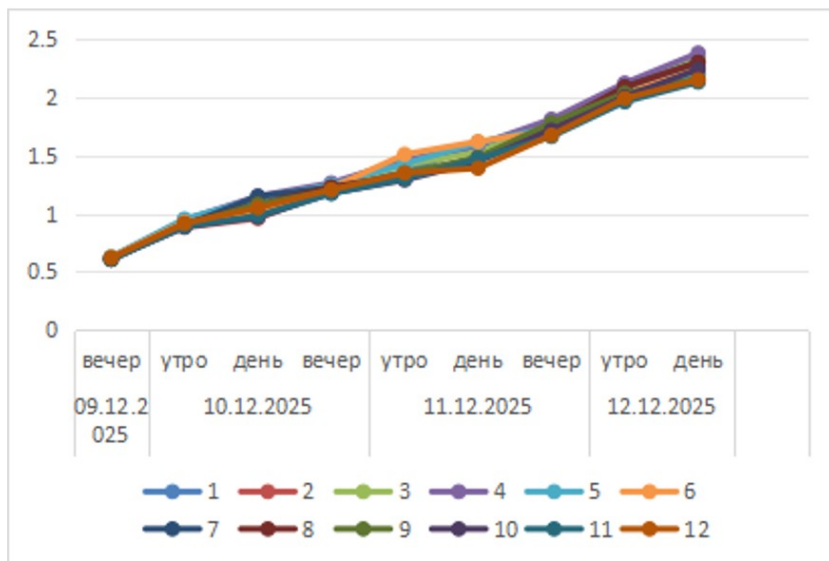
где D_0 и D_t — исходная концентрация клеток и их концентрация через время t , t — время между измерениями, часах.



a



б



в

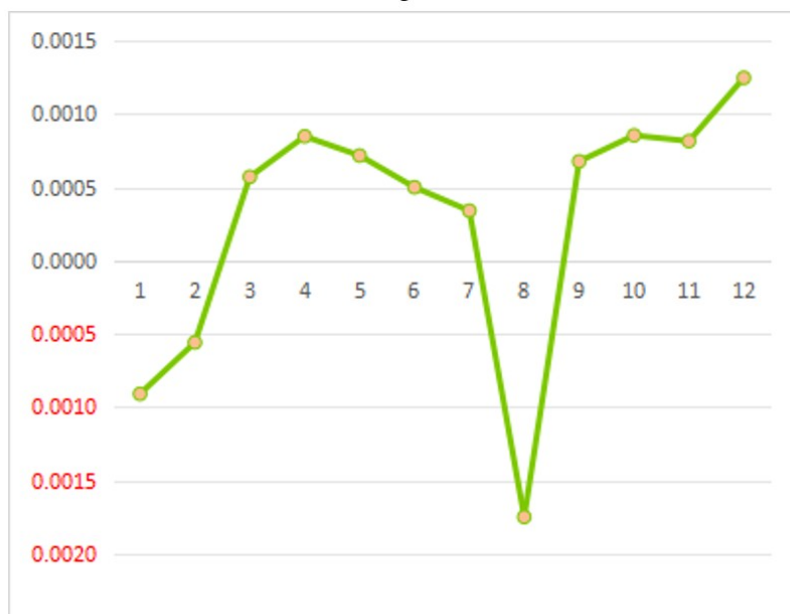
Рисунок 2 - Общая тенденция роста микроводоросли при действии различных аминокислот:
a - концентрация 0,001 % масс; *б* - концентрация 0,0001 % масс; *в* - концентрация 0,00001 % масс
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.19.2>



а



б



в

Рисунок 3 - Средняя удельная скорость роста культуры микроводоросли:
 а - концентрация 0,001 % масс; б - концентрация 0,0001 % масс; в - концентрация 0,00001 % масс
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.19.3>

Исходя из данных опыта с концентрацией 0,001% масс. на построенных диаграммах видно, что наибольшая удельная скорость роста наблюдается при внесении следующих аминокислот: глутаминовая кислота, аргинин, аланин, треонин, валин, триптофан, аденин, фенилаланин и пролин. А наименьшая удельная скорость роста - при внесении лизин, глицин, метионин (рисунок 2).

В опыте с концентрацией 0,0001% масс. из диаграмм видно, что наибольшая удельная скорость роста наблюдается при внесении следующих аминокислот: аланин, треонин, валин, триптофан, аспарагиновая кислота, фенилаланин и пролин. А наименьшая скорость роста — при внесении глутаминовая кислота, аргинин, лизин, глицин, метионин (рисунок 2).

В опыте с концентрацией 0,00001% масс. на построенных диаграммах видно, что наибольшая удельная скорость роста наблюдается при внесении следующих аминокислот: треонин, валин, триптофан, аспарагиновая кислота, фенилаланин и пролин. А наименьшая удельная скорость роста — при внесении остальных аминокислот, используемых в опыте (рисунок 2).

Данные по скорости роста согласуются с параметрами по оптической плотности культуры при внесении анализируемых аминокислот.

Полученные результаты имеют большое значение для разработки новых технологий культивирования *Chlorella* с повышенной эффективностью, что особенно актуально в рамках растущего спроса на экологически чистые продукты питания и возобновляемые источники энергии. Эксперимент открывает перспективы оптимизации промышленных процессов культивирования микроводоросли путём целенаправленного подбора питательных сред и режимов культивации, ориентированных на максимальное использование потенциала хлореллы как продуцента ценных биоресурсов.

Использование флуоресцентных методов анализа весьма актуально для мониторинга физиологических изменений в организмах живых биосистем и растений

Флуорисценция хлорофилла (ФХ) является удобным, быстрым и весьма информативным параметром, отражающим внутренние механизмы световой реакции фотосинтеза внутри организма (ФС 1 и ФС2), без его разрушения.

Реакцию биологических объектов, в частности микроорганизмов, на изменение условий окружающей среды, питание, температурные режимы можно зафиксировать с помощью измерения данного параметра, который в полной мере отражает фотосинтетические изменения в организме.

Для опыта с аминокислотами с концентрацией 0,00001% масс. проводилось определение параметров флуорисценции. Измеряли несколько параметров, а именно F_0 — это флуоресценция, исходящая от светособирающего комплекса. F_m — максимальная флуоресценция. F_v , переменная флуоресценция = $F_m - F_0$.

Отношение F_v/F_m — прямая мера оптимальной квантовой эффективности фотосинтеза. Это очень важное свойство, показывающее эффективность протекающих световых реакций. Обычно имеет теоретический максимум значение около 0,83. Относительную переменную флуоресценцию (F_v/F_m), характеризующую максимальную квантовую эффективность использования световой энергии, рассчитывали по формуле (2):

$$F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m \quad (2)$$

Для измерения показателя замедленной флуоресценции ЗФ использовался флуориметр «Фотон-10» («СФУ-Система», Россия). Интенсивность ЗФ измерялась в двух световых режимах: при возбуждении вспышками синего света (480 нм) высокой (ЗФ_в) и низкой (ЗФ_н) интенсивности. Длительность световых импульсов в режиме высокого света составляла 20 мс. Импульсы возбуждающего света чередовались с темновыми промежутками в 5 мс, в которые регистрировалась миллисекундная компонента кривых затухания ЗФ_в.

Полученные результаты представлены на рисунке 4

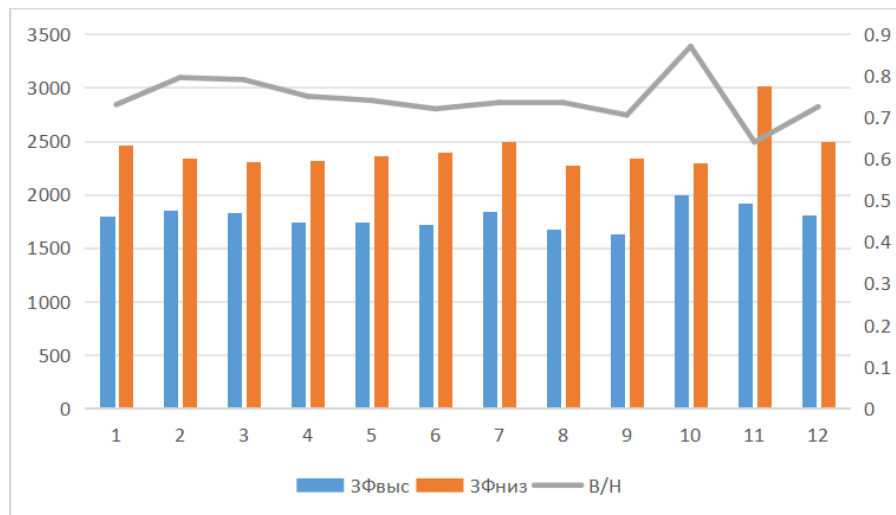


Рисунок 4 - Зависимость показателей замедленной флуоресценции культуры хлореллы от концентрации аминокислот с концентрацией 10⁻⁵ масс%
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.19.4>

В режиме низкого света после коротких импульсов светового возбуждения следовали более продолжительные промежутки темноты для обеспечения измерения длительных (секундных) компонент затухания ЗФ_н. Относительный показатель замедленной флуоресценции (ОПЗФ), измеряемый в течение нескольких секунд, рассчитывается как отношение ЗФ_{выс} к ЗФ_{низ}. Данный показатель многократно снижается при подавлении фотосинтеза в растительных клетках и при этом не зависит от концентрации клеток в суспензии микроводорослей хлореллы.

Заключение

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод об эффективности фотосинтеза хлореллы под влиянием различных аминокислот.

Эксперимент показал, что в присутствии различных аминокислот происходит увеличение интенсивности ЗФ, возбуждаемой светом высокой интенсивности (ЗФ_в), и увеличение при возбуждении светом низкой интенсивности (ЗФ_н). В результате этих изменений отношение ЗФ_в/ЗФ_н (ОПЗФ) колеблется и максимальные значения проявляются в образцах аргинин, аланин, триптофан, пролин.

Таким образом, использование аминокислот с разной концентрацией при культивировании микроводоросли Хлорелла позволило установить определенную положительную зависимость от концентрации, и наиболее эффективными при всех исследованных концентрациях оказались аминокислоты треонин, валин, триптофан, аденин, фенилаланин и пролин.

Регистрация относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) хлорофилла позволила выявить высокую чувствительность водоросли *Chlorella* к различным аминокислотам. Быстрая ответная реакция микроводорослей на изменение условий роста, в частности под влиянием аминокислот, позволяет использовать изменение их структурно-функциональных характеристик в качестве чувствительных индикаторов и диагностировать изменение клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов.

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить ключевые факторы, определяющие положительный эффект аминокислот на продукцию биомассы хлореллы, что открывает новые возможности для повышения эффективности технологии переработки микроводорослей и создаёт предпосылки для дальнейшего расширения области их применения в экономике и экологии.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. 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, 2025. — С. 10–12.
2. Ауджанова В.К. Морфологические и систематические характеристики хлореллы. Ее производство и применение / В.К. Ауджанова // Научный Вестник. — 2014. — № 1 (1). — С. 113–126.



3. Мануйлова В.С. Высокобелковые растительные компоненты в пищевых продуктах / В.С. Мануйлова, П.Д. Кизка, Н.Л. Мачнева // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ. — Краснодар, 2023. — С. 168–170.
4. Головки И.Е. Перспективы использования микроводоросли *Chlorella vulgaris* в пищевых продуктах / И.Е. Головки, Н.Л. Мачнева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 78-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2022 год. В 3-х частях. — Краснодар, 2023. — С. 898–901.
5. Миронова Е.В. Модифицированные питательные среды для культивирования микроводоросли / Е.В. Миронова, Н.Л. Мачнева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 78-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2022 год. В 3-х частях / Отв. за вып. А.Г. Кощаев. — Краснодар, 2023. — С. 947–950.
6. Tandon P. Effects of tryptophan along with Sodium pyruvate and sodium thiosulfate on *Chlorella vulgaris* growth / P. Tandon, Q. Jin, L. Huang [et al.] // Waste and Biomass Valorization. — 2020. — Vol. 11. — P. 967–982.
7. Sharma A. Impact of various media and organic carbon sources on biofuel production potential from *Chlorella* spp / A.Sharma, P.Sahoo, S.Singhal [et al.] // Biotech. — 2016. — Vol. 6. — P. 116–143.
8. Bo Yang. *Chlorella* specials as hosts for genetic engineering and expression of heterologous proteins: progress, challenge and perspective / Bo Yang, J. Liu, Y. Jiang [et al.] // Biotechnol. J. — 2016. — Vol. 11 (10). — P. 1244–1261.
9. Зайцев В.В. Влияние питательной среды на морфологические особенности и жизнеспособность клеток микроводоросли *Chlorella Vulgaris* Beijer / В.В. Зайцев, В.В. Петряков, Л.М. Зайцева [и др.] // Самарский научный вестник. — 2022. — Т. 11. — № 2.
10. Фирсова М.С. Подбор питательной среды и оптимизация режима глубинного культивирования *avibacterium paragallinarium* / М.С. Фирсова, В.А. Евграфова, А.В. Потехин // Ветеринария сегодня. — 2019. — № 2 (29). — С. 12–16.
11. Джамолов Ф.Б. Влияние этилендиаминовой соли бис(гидроксиметил)фосфиновой кислоты на процесс прироста водоросли *Chlorella Vulgaris* / Ф.Б. Джамолов, С.В. Фридланд // Вестник технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 7. — С. 167–169.
12. Зухрабова Л.М. Оптимизация биотехнологии выращивания хлореллы в лабораторных условиях / Л.М. Зухрабова, А.М. Галиева // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2014. — С. 99–102.
13. Шевцов А.А. Исследование процесса массового культивирования хлореллы методами планирования эксперимента / А.А. Шевцов, Е.С. Шенцова, А.В. Дранников // Известия вузов. Пищевая технология. — 2009. — № 2-3. — С. 57–60.
14. Дворецкий Д.С. Вопросы разработки эффективной биотехнологии синтеза ценных компонентов из биомассы микроводорослей / Д.С. Дворецкий, М.С. Темнова, И.В. Маркина // Теоретические основы химической технологии. — 2022. — Т. 56. — № 4. — С. 418–433.
15. Митишев А.В. Влияние источников азота на накопление и белковость биомассы Хлореллы штамма IPPAS C-2019 / А.В. Митишев, Е.Ф. Семенова, Е.Е. Курдюков // Медицина и здравоохранение. — 2021. — С. 123–129.
16. Новокшонова А.Д. Применение хлореллы обыкновенной в биотехнологии и пищевой промышленности / А.Д. Новокшонова, П.В. Храмцов, М.Б. Раев // Вестник ПФИЦ. — 2023. — С. 32–42.
17. Митишева Н.В. Маркетинговый анализ российского рынка альгопрепаратов / Н.В. Митишева, А.С. Феднина, М.Г. Макарецва // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — № 12 (138). — С. 1–7.
18. Акимов А.И. Изменение скорости роста, флуоресцентных и цитометрических показателей у микроводоросли *Dunaliella salina* (Teod.) при различной концентрации меди в среде / А.И. Акимов, Е.С. Соломонова, Н.Ю. Шофан [и др.] // Сибирский экологический журнал. — 2023. — Т. 30. — № 3. — С. 343–56. — DOI: 10.15372/SEJ20230311. — EDN: XLQXFE.
19. Тренкеншу Р.П. Расчёт удельной скорости роста микроорганизмов / Р.П. Тренкеншу // Морской биологический журнал. — 2019. — Т. 4. — № 1. — С. 100–108.
20. Дворецкий, Д.С. Перспективные биотехнологии микроводорослей : учебное пособие / Д.С. Дворецкий, М.С. Темнов, Я.В. Устинская [и др.]. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2022. — 128 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yablonskaya Ye.K. Perspektivi primeneniya aminokislot i ikh kompleksov v biotekhnologii proizvodstva khlorelli [Prospects for the use of amino acids and their complexes in chlorella production biotechnology] / Ye.K. Yablonskaya, N.L. Machneva // Nauka, obrazovanie, obshchestvo: Tendentsii i perspektivi razvitiya: materialy II vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Science, Education, Society: Trends and Prospects for Development: Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference]. — Cheboksary, 2025. — P. 10–12. [in Russian]
2. Audzhanova V.K. Morfologicheskie i sistematicheskie kharakteristiki khlorelli. Yee proizvodstvo i primeneniye [Morphological and systematic characteristics of chlorella. Its production and applications] / V.K. Audzhanova // Nauchnii Vestnik [Scientific Bulletin]. — 2014. — № 1 (1). — P. 113–126. [in Russian]
3. Manuilova V.S. Visokobelkovie rastitelnie komponenti v pishchevikh produktakh [High-protein plant components in food products] / V.S. Manuilova, P.D. Kizka, N.L. Machneva // Sovremennye aspekti proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: sbornik statei po materialam VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii,



posvyashchennoi 20-letiyu kafedri tekhnologii khraneniya i pererabotki zhivotnovodcheskoi produktsii Kubanskogo GAU [Contemporary aspects of agricultural production and processing: a collection of articles based on the proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of Storage and Processing Technology of Livestock Products at Kuban State Agrarian University]. — Krasnodar, 2023. — P. 168–170. [in Russian]

4. Golovko I.E. Perspektivi ispolzovaniya mikrovdorosli chlorella vulgaris v pishchevikh produktakh [Prospects for the use of the microalgae *Chlorella vulgaris* in food products] / I.E. Golovko, N.L. Machneva // Nauchnoe obespechenie agropromishlennogo kompleksa: sbornik statei po materialam 78-i nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov po itogam NIR za 2022 god. V 3-kh chastyakh [Scientific Support for the Agro-Industrial Complex: a collection of articles based on the Proceedings of the 78th Scientific and Practical Conference of Students on the Results of Research Work for 2022. In 3 parts]. — Krasnodar, 2023. — P. 898–901. [in Russian]

5. Mironova Ye.V. Modifitsirovaniye pitatelnie sredi dlya kultivirovaniya mikrovdorosli [Modified culture media for microalgae cultivation] / Ye.V. Mironova, N.L. Machneva // Nauchnoe obespechenie agropromishlennogo kompleksa: sbornik statei po materialam 78-i nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov po itogam NIR za 2022 god. V 3-kh chastyakh [Scientific Support for the Agro-Industrial Complex: a collection of articles based on the Proceedings of the 78th Scientific and Practical Conference of Students on the Results of Research Work for 2022] / Resp. for ed. A.G. Koshchayev. — Krasnodar, 2023. — P. 947–950. [in Russian]

6. Tandon P. Effects of tryptophan along with Sodium pyruvate and sodium thiosulfate on *Chlorella vulgaris* growth / P. Tandon, Q. Jin, L. Huang [et al.] // Waste and Biomass Valorization. — 2020. — Vol. 11. — P. 967–982.

7. Sharma A. Impact of various media and organic carbon sources on biofuel production potential from *Chlorella* spp / A.Sharma, P.Sahoo, S.Singhal [et al.] // Biotech. — 2016. — Vol. 6. — P. 116–143.

8. Bo Yang. *Chlorella* specials as hosts for genetic engineering and expression of heterologous proteins: progress, challenge and perspective / Bo Yang, J. Liu, Y. Jiang [et al.] // Biotechnol. J. — 2016. — Vol. 11 (10). — P. 1244–1261.

9. Zaitsev V.V. Vliyaniye pitatelnoi sredi na morfologicheskie osobennosti i zhiznesposobnost kletok mikrovdorosli *Chlorella Vulgaris* Beijer [The effect of the nutrient medium on the morphological characteristics and viability of *Chlorella vulgaris* Beijer microalgae cells] / V.V. Zaitsev, V.V. Petyakov, L.M. Zaitseva [et al.] // Samarskii nauchnii vestnik [Samara Scientific Bulletin]. — 2022. — Vol. 11. — № 2. [in Russian]

10. Firsova M.S. Podbor pitatelnoi sredi i optimizatsiya rezhima glubinnogo kultivirovaniya avibacterium paragallunarium [Selection of culture media and optimisation of deep-culture conditions for *Avibacterium paragallunarium*] / M.S. Firsova, V.A. Yevgrafova, A.V. Potekhin // Veterinariya segodnya [Veterinary Medicine Today]. — 2019. — № 2 (29). — P. 12–16. [in Russian]

11. Dzhamolov F.B. Vliyaniye etilendiaminnoi soli bis(gidroksimetil)fosfinovoi kisloti na protsess prirosta vdorosli *Chlorella Vulgaris* [The effect of ethylenediamine salt of bis(hydroxymethyl)phosphinic acid on the growth of *Chlorella vulgaris*] / F.B. Dzhamolov, S.V. Fridland // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University]. — 2017. — Vol. 20. — № 7. — P. 167–169. [in Russian]

12. Zukhrabova L.M. Optimizatsiya biotekhnologii virashchivaniya khlorelli v laboratornikh usloviyakh [Optimisation of the biotechnology for cultivating *chlorella* in laboratory conditions] / L.M. Zukhrabova, A.M. Galieva // Uchenie zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsini im. N.E. Bauman [Scientific Proceedings of the N.E. Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine], 2014. — P. 99–102. [in Russian]

13. Shevtsov A.A. Issledovanie protsessa massovogo kultivirovaniya khlorelli metodami planirovaniya eksperimenta [A study of the process of large-scale *chlorella* cultivation using experimental design methods] / A.A. Shevtsov, Ye.S. Shentsova, A.V. Drannikov // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya [University Proceedings. Food Technology]. — 2009. — № 2-3. — P. 57–60. [in Russian]

14. Dvoretiskii D.S. Voprosi razrabotki effektivnoi biotekhnologii sinteza tsennikh komponentov iz biomassi mikrovdoroslei [Issues in the development of effective biotechnology for the synthesis of valuable components from microalgal biomass] / D.S. Dvoretiskii, M.S. Temnova, I.V. Markina // Teoreticheskie osnovi khimicheskoi tekhnologii [Theoretical Foundations of Chemical Technology]. — 2022. — Vol. 56. — № 4. — P. 418–433. [in Russian]

15. Mitishev A.V. Vliyaniye istochnikov azota na nakopleniye i belkovost biomassi *Khlorelli* shtamma IPPAS C-2019 [The effect of nitrogen sources on the accumulation and protein content of *Chlorella* biomass (strain IPPAS C-2019)] / A.V. Mitishev, Ye.F. Semenova, Ye.E. Kurdyukov // Meditsina i zdavookhraneniye [Medicine and Healthcare]. — 2021. — P. 123–129. [in Russian]

16. Novokshonova A.D. Primeneniye khlorelli obiknovennoi v biotekhnologii i pishchevoi promishlennosti [The use of *Chlorella vulgaris* in biotechnology and the food industry] / A.D. Novokshonova, P.V. Khramtsov, M.B. Raev // Vestnik PFITs [Bulletin of the PFITC]. — 2023. — P. 32–42. [in Russian]

17. Mitisheva N.V. Marketingovii analiz rossiiskogo rinka algopreparatov [Marketing analysis of the Russian market for algopreparations] / N.V. Mitisheva, A.S. Fednina, M.G. Makartseva // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International Research Journal]. — 2025. — № 12 (138). — P. 1–7. [in Russian]

18. Akimov A.I. Izmeneniye skorosti rosta, fluoretsentnikh i tsitometricheskikh pokazatelei u mikrovdorosli *Dunaliella salina* (Teod.) pri razlichnoi kontsentratsii medi v srede [Changes in growth rate, fluorescence and cytometric parameters in the microalga *Dunaliella salina* (Teod.) at different concentrations of copper in the medium] / A.I. Akimov, Ye.S. Solomonova, N.Yu. Shoman [et al.] // Sibirskii ekologicheskii zhurnal [Siberian Ecological Journal]. — 2023. — Vol. 30. — № 3. — P. 343–356. — DOI: 10.15372/SEJ20230311. — EDN: XLQXFE. [in Russian]

19. Trenkenshu R.P. Raschyot udelnoi skorosti rosta mikroorganizmov [Calculation of the specific growth rate of microorganisms] / R.P. Trenkenshu // Morskoi biologicheskii zhurnal [Marine Biology Journal]. — 2019. — Vol. 4. — № 1. — P. 100–108. [in Russian]



20. Dvoretiskii, D.S. Perspektivnie biotekhnologii mikrovodoroslei : uchebnoe posobie [Promising microalgae biotechnologies: study guide] / D.S. Dvoretiskii, M.S. Temnov, Ya.V. Ustinskaya [et al.]. — Tambov: Tambov State Technical University, EBS ASV, 2022. — 128 p. [in Russian]