

УДК 613.2:582.263

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННЫХ АМИНОКИСЛОТ НА РОСТ И СКОРОСТЬ ПРИРОСТА БИОМАССЫ CHLORELLA

Яблонская Елена Карленовна
д.с.-х.н, профессор
РИНЦ SPIN код 2881 - 4547
yablonskaya@mail.ru

Мачнева Надежда Леонидовна
к.б.н, доцент
РИНЦ SPIN код 6931-4477
machneva1982@mail.ru

Гнеуш Анна Николаевна
к. с.-х.н, доцент
РИНЦ SPIN код 2342-8682
Gneush.anna@yandex.ru

Миронова Елизавета Викторовна
Магистрант ПБ 2541
РИНЦ SPIN код 9450-7916
Li_mironovaa@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13

Культивирование микроводорослей представляет собой экономически целесообразный и стратегически значимый компонент биоэкономики Российской Федерации. Ключевой особенностью *Chlorella* spp. является способность к синтезу широкого спектра биологически активных соединений, биосинтез которых может быть модулирован посредством модификации питательной среды. В настоящей работе проведено исследование влияния экзогенных аминокислот на рост и продукционный процесс зелёной микроводоросли *Chlorella*, являющейся весьма перспективным сырьевым объектом для биоэнергетики, нутрицевтики и фармацевтики. Наше исследование направлено на идентификацию оптимальных экзогенных соединений, способных обеспечить максимальную интенсификацию накопления биомассы и повысить выход целевых метаболитов в процессе культивирования *Chlorella* spp. В рамках экспериментальной работы был проведён комплексный анализ воздействия отдельных аминокислот на ключевые физиологические параметры культуры, включая удельную скорость роста (μ , сут⁻¹) и максимальную плотность популяции (N_{max} , кл/мл). Проведено сравнение динамики роста и продукционных характеристик в контрольной и опытных образцах с

UDC 613.2:582.263

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (biological sciences, agricultural sciences)

EFFECT OF EXOGENOUS AMINO ACIDS ON THE GROWTH AND RATE OF BIOMASS OF CHLORELLA

Yablonskaya Elena Karlenovna
Dr.Sci.Agr, professor
RSCI SPIN-code 2881 - 4547
yablonskaya@mail.ru

Machneva Nadezhda Leonidovna
Candidate of Biological Sciences, Docent
RSCI SPIN-code 6931-4477
machneva1982@mail.ru

Gneush Anna Nikolaevna
Candidate of Agricultural Science, Docent
RSCI SPIN-code 2342-8682
Gneush.anna@yandex.ru

Mironova Elisaveta Viktorovna
master's student PB 2541
RSCI SPIN-code 9450-7916
Li_mironovaa@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia 350044, Kalinina, 13

Microalgae cultivation is an economically viable and strategically significant component of the Russian Federation's bioeconomy. A key feature of *Chlorella* spp. is its ability to synthesize a wide range of biologically active compounds, the biosynthesis of which can be modulated by modifying the nutrient medium. This study examines the effect of exogenous amino acids on the growth and production of the green microalga *Chlorella*, a highly promising raw material for bioenergy, nutraceuticals, and pharmaceuticals. Our study aimed to identify optimal exogenous compounds capable of maximizing biomass accumulation and increasing the yield of target metabolites during *Chlorella* spp. cultivation. The experimental work included a comprehensive analysis of the effects of individual amino acids on key physiological parameters of the culture, including specific growth rate (μ , day⁻¹) and maximum population density (N_{max} , cells/ml). Growth dynamics and production characteristics were compared in control and experimental samples treated with varying concentrations of the studied amino acids to determine their stimulatory or inhibitory effects. The experiment revealed an increase in the functional activity of the microalgae's photosynthetic apparatus due to intensified cellular metabolism, induced by

обработкой различными концентрациями исследуемых аминокислот для определения их стимулирующего или ингибирующего эффекта. В ходе эксперимента установлено повышение функциональной активности фотосинтетического аппарата микроводоросли в результате интенсификации клеточного метаболизма, что индуцировано применяемыми аминокислотами. Полученные результаты будут полезны для совершенствования процесса технологии культивирования *Chlorella* с целью повышения ее продуктивности, имеют высокую практическую значимость в парадигме тренда на развитие производства экологически безопасных пищевых продуктов и возобновляемых энергоресурсов. Полученные в ходе эксперимента результаты позволят производителям оптимизировать промышленную технологию производства микроводоросли за счёт рационального подбора питательных сред и режимов, обеспечивающих максимальную реализацию биосинтетического потенциала микроводоросли *Chlorella* как эффективного продуцента ценных биологических ресурсов

Ключевые слова: МИКРОВОДОРОСЛИ, CHLORELLA, АМИНОКИСЛОТЫ, ПОДБОР ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД, ПРИРОСТ БИОМАССЫ, СКОРОСТЬ РОСТА, БАВ ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ

the amino acids used. The results will be useful for improving *Chlorella* cultivation technology to increase its productivity and are of high practical significance in the context of the trend toward developing environmentally friendly food and renewable energy production. The results obtained during the experiment will allow manufacturers to optimize industrial microalgae production technology through the rational selection of nutrient media and regimens that maximize the biosynthetic potential of *Chlorella* microalgae as an effective producer of valuable biological resources

Keywords: MICROALGAE, CHLORELLA, AMINO ACIDS, BIOMASS INCREASE, GROWTH RATE, BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM ALGAE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-221-034>

В настоящее время микроводоросль *Chlorella* занимает лидирующие позиции среди биотехнологических платформ для производства целевых продуктов, предназначенных для питания животных и человека. Внедрение технологий культивирования микроводорослей рассматривается как экономически целесообразное и стратегически значимое направление развития биоэкономики Российской Федерации. Ключевым преимуществом *Chlorella* является её метаболическая пластичность, позволяющая направленно синтезировать разнообразные биологически активные соединения посредством модификации компонентного состава питательной среды [1-3].

Сухая биомасса водоросли имеет следующий химический состав: до 50% белка, 26% углеводов, 13% липидов и до 10% минеральных веществ.

<http://ej.kubagro.ru/2026/07/pdf/34.pdf>

Варьирование компонентов питательной среды позволяет получать биомассу с обширным составом содержания макронутриентов: 38% углеводов, до 88% белка и 86% липидов. Белковый состав микроводоросли *Chlorella* по характеристикам качества не уступает лучшим растительным аналогам по содержанию наиболее полного списка незаменимых аминокислот. Фракция липидов обогащена полиненасыщенными жирными кислотами с высокой биологической ценностью, включая линолевую, линоленовую, арахидоновую, докозагексаеновую и эйкозапентаеновую кислоты.

Из литературы известно, что аминокислотный профиль 1 г белка *Chlorella* включает: аспарагиновую кислоту (0,064 г), глицин (0,062 г), аланин (0,077 г), глутаминовую кислоту (0,078 г), серин (0,033 г), тирозин (0,028 г), пролин (0,058 г), цистин (0,002 г), валин (0,055 г), аргинин (0,158 г), гистидин (0,033 г), изолейцин (0,035 г), лейцин (0,061 г), лизин (0,102 г), метионин (0,014 г), фенилаланин (0,028 г), треонин (0,029 г) и триптофан (0,021 г) [3,5-7].

Chlorella производит комплекс биологически активных веществ, в том числе хлореллин, обладающий свойствами антибиотика, проявляет высокую антимикробную активность в отношении патогенных микроорганизмов, включая стрептококки, *Escherichia coli*, стафилококки, и микобактерии туберкулёза, при этом эффективные концентрации составляют $5 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-6}$.

Водоросль весьма неприхотлива к изменению уровню *pH* и состава питательной среды, оптимальная температура роста варьируется от 20–28 °С. Выращивание возможно при естественном и при искусственном свете, это обеспечивает независимость культуры от сезонных факторов. Когда плотность клеточной популяции достигает 3 млн/млэ, активируются выраженные антагонистические свойства по отношению к сопутствующей

альгофлоре, бактериям и инфузориям, и это позволяет культивировать ее без соблюдения строгой стерильности [1-4].

Культура данной микроводоросли развивается преимущественно асинхронно и не демонстрирует устойчивого циклического развития. Эта особенность может быть использована для разработки методов синхронизации клеточного деления, что позволит повысить выход биомассы [8-13]. Таким образом, за счёт оптимизации питательного режима, параметров освещённости и выбора формата культивирования становится возможным не только увеличить продукцию отдельных биологически ценных компонентов, востребованных в питании человека и животных, но и получать полноценный «суперфуд» для диетического и функционального питания. Аминокислоты рассматривались в качестве перспективного нанотехнологичного инструмента регуляции (эффективного даже в ультранизких концентрациях) для синхронизации клеточного деления, увеличения скорости роста и продуктивности биомассы, в частности глюкогогенных аминокислот.

Цель исследования - изучение влияния экзогенно внесенных аминокислот кетогенного, глюкогогенного и смешанного типа на жизненный цикл *Chlorella* в стандартном питательном растворе Тамия.

Высокий уровень биодоступности питательных веществ обеспечивается такими аминокислотами, как гистидин, лизин, глутаминовая кислота, глицин и метионин, склонные образовывать хелатные комплексы с различными микроэлементами. Положительное воздействие на метаболизм хлореллы оказывают валин, пролин треонин, триптофан, аланин, аргинин, серин, фенилаланин, тирозин, способствуя ускорению регенерации в условиях стресса.

Как следует из основ биохимии и молекулярной биологии, катаболизм аминокислот осуществляется по множеству

специализированных путей, определяемых структурой их боковых цепей [14-17].

Тем не менее, конечные продукты преобразования аминокислот у микроводоросли превращаются в шесть ключевых метаболитов цикла трикарбоновых кислот. При изменении физиологических условиях эти интермедиаты опосредованно вовлекаются в биосинтетические пути, ведущие к образованию глюкозы и кетонových тел [12,14,20].

В задачи исследований входило: определить влияние различных концентраций аминокислот на рост биомассы; рассчитать удельную скорость роста; по параметрам замедленной флуоресценции оценить фотосинтетическую активность.

В рамках эксперимента были выбраны 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). Аминокислоты вводились в питательную среду по отдельности, непосредственно в момент инокуляции культуры микроводоросли *Chlorella*, в концентрациях 0,001%, 0,0001% и 0,00001% по массе. Начальная плотность культуры, определяемая по оптической плотности, составляла 0,6 относительных единиц. Количество повторений во всех экспериментах - 3х кратное.

Результаты эксперимента. В рамках лабораторных исследований культивирование микроводоросли осуществлялось на стандартной питательной среде Тамия. Процесс наращивания биомассы проводился в трёхкратной биологической повторности в течение 72 часов. В течение всего периода культивирования осуществлялся мониторинг оптической плотности культуры, являющейся косвенным показателем концентрации клеточной биомассы в 1 мл суспензии. Регистрация оптической плотности производилась с интервалом в 8 часов (рисунок 1, таблица 1) [9-13].

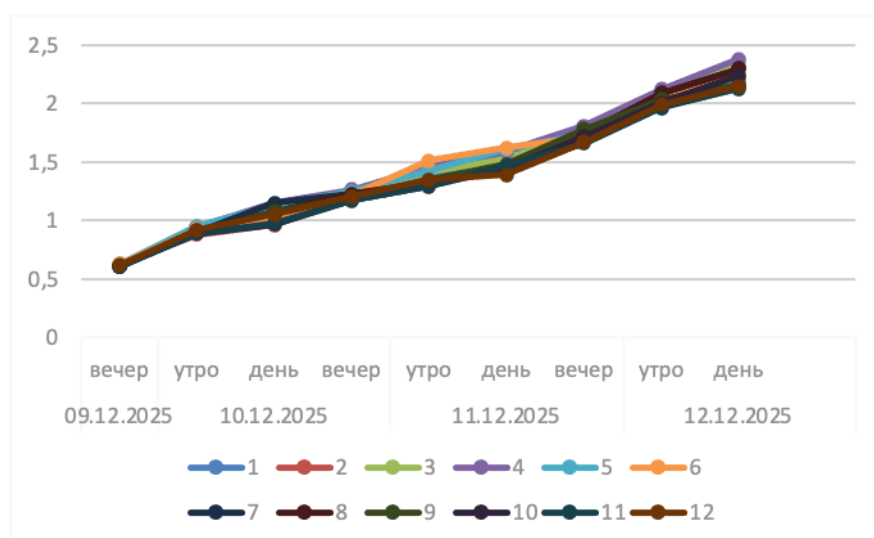
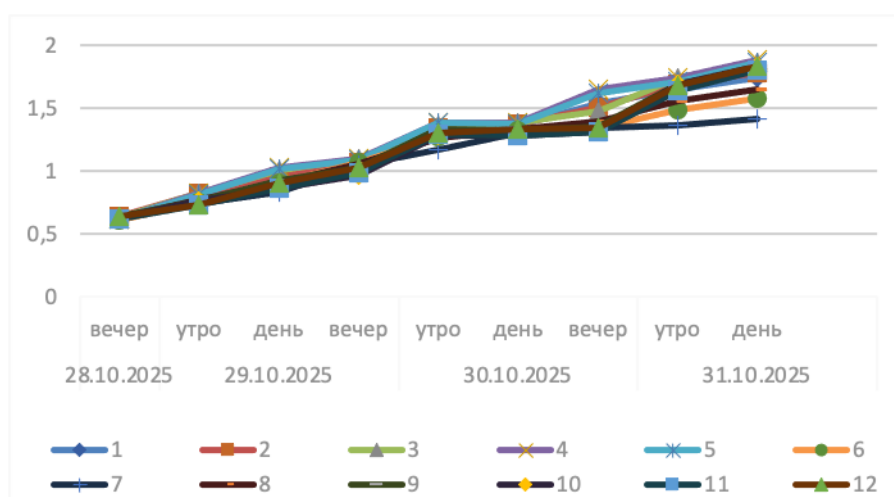
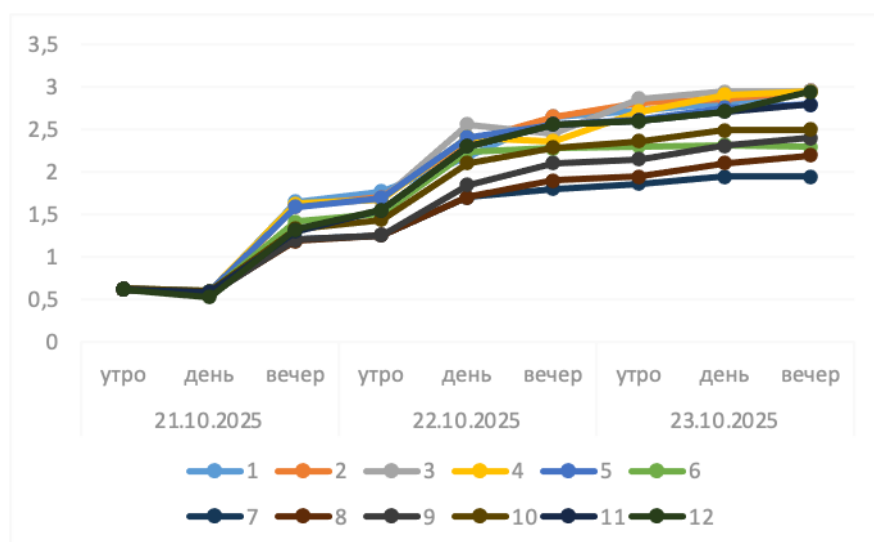


Рисунок 1 – Рост микроводоросли под влиянием аминокислот (НСР 0,05).

На основании полученных экспериментальных данных установлено, что все исследованные аминокислоты в изученных концентрациях оказывали стимулирующее воздействие на культуру микроводоросли.

Таблица - 1 Прирост биомассы микроводоросли Хлореллы в зависимости от концентрации аминокислот (НСР 0,05)

Аминокислота	Концентрация 0,001		Концентрация 0,0001		Концентрация 0,00001	
	плотность биомассы,	прирост, %	плотность биомассы,	прирост, %	плотность биомассы,	прирост, %
Контроль	1.905	-	1.855	-	1.887	-
Глутаминовая кислота	2,724	+43	2,638	+47	2,171	+42
Аргинин	2.361	+24	2.5415	+37	2.066	+41
Аспарагиновая кислота	2,808	+47	2,625	+41	2,1635	+40
Аланин	2.857	+50	2.7255	+42	2.2665	+39
Треонин	2.7065	+42	2.638	+42	2.145	+38
Валин	2.6065	+37	2.5545	+38	2.0735	+37
Лизин	2.3025	+21	2.6055	+40	2.2215	+36
Глицин	1.96	+2.6	2.6195	+41	2.22	+35
Метионин	1.946	+2.5	2.6625	+43	2.1655	+34
Триптофан	2.147	+13	2.615	+41	2.0705	+33
Фенилаланин	2.6035	+37	2.483	+34	2.0655	+32
Пролин	2.5955	+36	2.5175	+36	2.014	+31

Выявлено положительное влияния протеиногенных аминокислот на прирост и продуктивность биомассы хлореллы. Концентрация 0,001% по массе показала высокое стимулирующее действие на удельную скорость

роста и накопление биомассы: наиболее активны глутаминовая кислота, аргинин, треонин, аланин, валин, триптофан, фенилаланин, аспарагиновая кислота и пролин.

В концентрации 0,0001% по массе стимулирующее влияние на скорость роста и прирост биомассы было выявлено для валина, аланина, фенилаланин, треонина, триптофана, аспарагиновой кислоты и пролина.

В концентрации 0,00001% по массе наиболее выраженный положительный эффект отмечался в вариантах с аргинином, триптофаном, глутаминовой кислотой, аланином, валином, пролином, аспарагиновой кислотой, фенилаланином, и треонином.

Следовательно, треонин, валин, фенилаланин, триптофан и пролин демонстрируют устойчивое положительное влияние на скорость роста и синхронизацию культуры *Chlorella* независимо от используемой концентрации.

Для количественной оценки влияния аминокислот на динамику роста культуры были рассчитаны средние значения удельной скорости роста ($V_{уд}$) для каждого варианта эксперимента (рисунок 2) [18-20].

Величину удельной скорости роста определяли используя следующее уравнение (1) [19]:

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

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

Анализ полученных данных показал выраженную зависимость удельной скорости роста биомассы микроводоросли от вида и концентрации аминокислот.

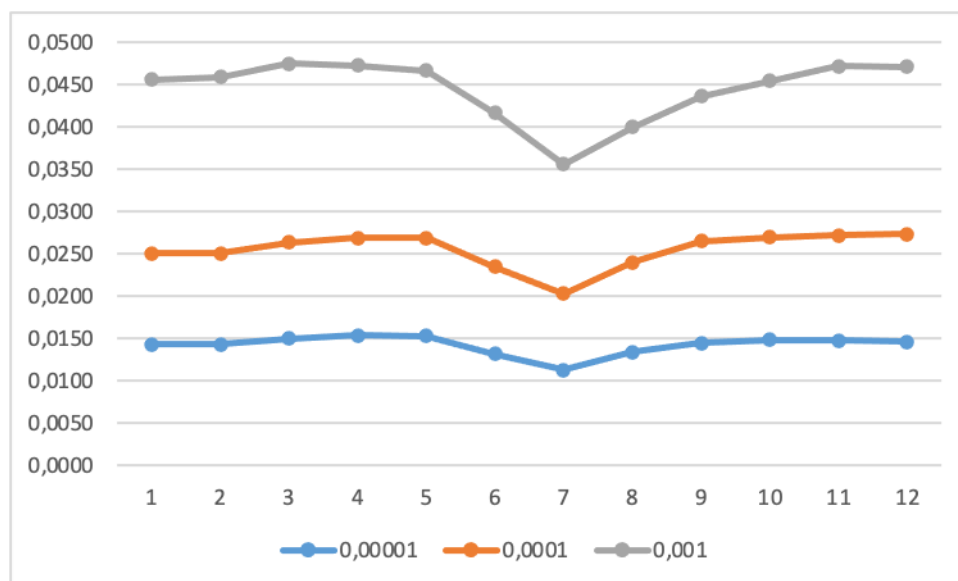


Рисунок 2 – Удельная скорость роста микроводоросли (НСР 0,05)

Наиболее выраженным положительным эффектом на рост биомассы обладают аминокислоты с разветвленной цепью и алифатические аминокислоты.

Так, аланин (3) и валин (5) оказывают пик скорости роста (0,0212). Их эффективность обусловлена, вероятно, их ролью не только как строительных блоков, но и как важных метаболитов в энергетическом обмене и цикле трикарбоновых кислот.

Аргинин (2) и Глутаминовая кислота (1) также показывают высокие максимальные значения (0,0208 и 0,0205 соответственно), что подчеркивает их центральную роль в азотистом обмене. Фенилаланин (11), пролин (12) и треонин (4) показывает средние значения изучаемого параметра.

Менее эффективно на скорость роста влияют, как ни странно, глицин (7), метионин (8) и лизин (6) с максимальными значениями 0,0153, 0,0160 и 0,0182 соответственно. Это может указывать на то, что их избыток не является лимитирующим фактором для роста данной культуры и более узкую метаболическую направленность.

Следовательно, аминокислоты играют важную роль в синтезе белков, ферментов и сигнальных молекул у микроводорослей. Когда их концентрация снижается, доступность необходимых компонентов становится ограниченной, что замедляет процессы биосинтеза и ограничивает рост. У каждой аминокислоты существует определённый минимальный уровень, ниже которого она перестаёт оказывать заметное влияние на метаболизм клетки.

Данные проведенного исследования по определению скорости роста культуры *Chlorella* демонстрируют корреляционную зависимость с динамикой оптической плотности, что подтверждает их стимулирующее влияние на накопление биомассы.

Наш эксперимент имеет огромное значение для совершенствования биотехнологий культивирования микроводорослей рода *Chlorella*, направленных на повышение эффективности процесса, что весьма актуально в условиях растущего спроса на экологически безопасные продукты питания и возобновляемые энергоресурсы.

Экспериментальные данные открывают перспективы для оптимизации промышленных технологий культивирования микроводорослей за счёт рационального «конструирования» питательных сред, обеспечивающих максимальную реализацию биосинтетического потенциала *Chlorella* как продуцента ценных компонентов.

Применение флуоресцентного метода анализа является высокоэффективным методом для мониторинга физиологических изменений в растительных объектах [18].

Флуоресценция хлорофилла (ΦX) это неинвазивный, экспрессный и высокоинформативный метод, позволяющий оценить процессы фотосинтеза, включая работу фотосистем *I* и *II*, без разрушения биологического материала [18,20].

Параметры флуоресценции чутко реагирует на любые физиологические изменения в клетках микроводорослей, вызванные воздействием внешних факторов, таких как состав питательной среды, температура, освещенность и другие стрессовые факторы, что позволяет применять метод для оперативной диагностики их метаболического статуса [18,21].

В рамках проводимого нами эксперимента (концентрация аминокислот 0,00001% масс.) определялись ключевые параметры флуоресценции хлорофилла:

F_0 - уровень флуоресценции, отражающий эффективность светособирающего комплекса.

F_m - уровень флуоресценции при насыщающем импульсе света.

F_v - переменная флуоресценция, рассчитываемая как разница $F_m - F_0$.

Отношение F_v/F_m является коэффициентом эффективности фотосинтеза и характеризует потенциальную эффективность работы фотосинтетического аппарата. Теоретический максимум данного показателя для здоровых фотосинтезирующих клеток составляет **0,83**. Расчёт коэффициента эффективности флуоресценции (F_v/F_m) производился по стандартной формуле(2):

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

Замедленную флуоресценцию ЗФ определяли на флуориметре «Фотон-10» («СФУ-Система», Россия). Интенсивность ЗФ измеряли в двух световых режимах: при возбуждении вспышками синего света (480 нм) высокой (ЗФв) и низкой (ЗФн) интенсивности. Длительность световых импульсов 20 мс. Импульсы возбуждающего света чередовались теневыми интервалами в 5 мс, в которые регистрировалась компонента кривых затухания ЗФв. Полученные результаты представлены на рисунке 3

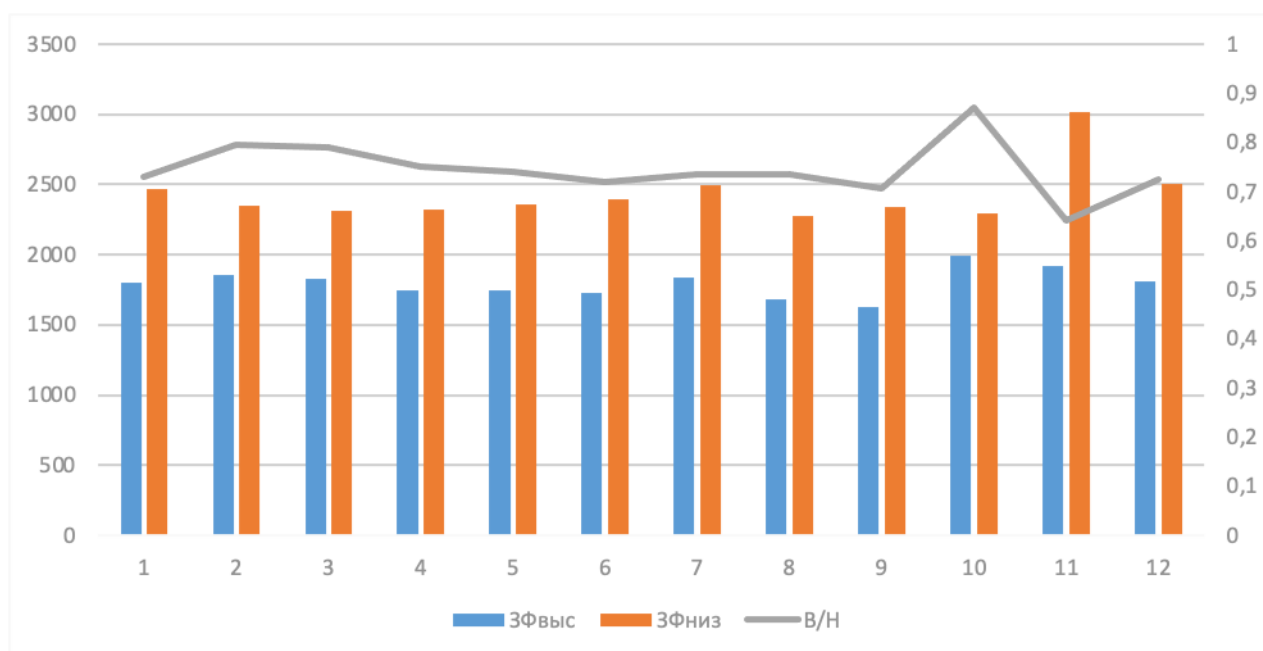


Рисунок 3 - Параметры замедленной флуоресценции хлореллы в варианте внесения аминокислот с концентрацией 10^{-5} масс.

Для регистрации длительных компонент затухания $ЗФ_n$ культивирование проводилось в режиме малой освещённости, при котором за короткими световыми импульсами следовали длинные периоды темноты.

Определяемый в интервале нескольких секунд относительный показатель замедленной флуоресценции ($ОПЗФ$) рассчитывался отношением интенсивности флуоресценции при высокой интенсивности ($ЗФ_{выс}$) к показателю при возбуждении светом низкой интенсивности ($ЗФ_{низ}$). Данный параметр существенно снижается при ингибировании фотосинтеза в клетках микроводорослей, при этом его величина не зависит от плотности клеточной суспензии *Chlorella*.

Обсуждение результатов. На основании полученных экспериментальных данных можно заключить, что экзогенное внесение

аминокислот оказывает выраженное влияние на эффективность фотосинтетических процессов у *Chlorella*.

В ходе исследования было установлено, что присутствие аминокислот в питательной среде индуцирует увеличение интенсивности замедленной флуоресценции. Динамика отношения показателя ОПЗФ характеризовалась значительными колебаниями, при этом максимальные значения были отмечены в образцах, обработанных аргинином, аланином, триптофаном и пролином.

В ходе эксперимента нами установлено, что аминокислоты увеличивают интенсивность ЗФ. Показатель ОПЗФ колеблется и максимальные значения проявляются в образцах аланином, аргинином, триптофаном и пролином. Аспарагиновая кислота выделяется на фоне других аминокислот, как наиболее эффективный компонент питательной среды у *Chlorella*, имеет максимальные значения ЗФ при обоих режимах возбуждения и самый высокий коэффициент В/Н (0,87). Так же можно выделить аланин (0,79) — и аргинин (0,73).

Полученные данные свидетельствуют о том, что данные аминокислоты способствуют формированию у микроводоросли устойчивой фотосинтетической системы. Такая система способна эффективно рассеивать избыточную энергию и сохранять свою функциональность даже при изменениях уровня освещённости. Так, фенилаланин обеспечил минимальный коэффициент В/Н (0,64), что говорит о наибольшей чувствительности фотосинтетического аппарата к смене световых условий.

Различия между аминокислотами по абсолютным значениям замедленной флуоресценции (ЗФ) и коэффициенту В/Н свидетельствуют о различном их воздействии на физиологическое состояние *Chlorella*. Вероятно, что обусловлено индивидуальными особенностями транспорта,

метаболизма или прямого взаимодействия аминокислот с элементами фотосинтетического аппарата.

Таким образом, эксперименты по культивированию *Chlorella* с добавлением аминокислот в различных концентрациях выявили наличие прямой положительной корреляции между их содержанием и биосинтетической активностью культуры. Наиболее стабильный и выраженный стимулирующий эффект на всех этапах исследования продемонстрировали треонин, валин, триптофан, фенилаланин и пролин.

Анализ ОПЗФ хлорофилла показал высокую чувствительность изучаемой микроводоросли к воздействию выбранных аминокислот. Весьма оперативный отклик биомассы микроводорослей на модификацию условий культивирования, позволяет применять изменения в структурно-функциональном состоянии хлореллы в качестве чувствительных биомаркеров для оперативной диагностики метаболических перестроек на клеточном уровне.

Выводы. Установлены ключевые факторы, лежащие в основе положительного влияния аминокислот на продукционные характеристики изучаемой микроводоросли, что открывает перспективы для дальнейшей оптимизации технологии культивирования и переработки микроводорослей, создавая фундамент для расширения сферы их практического применения в промышленных и экологических биотехнологиях.

Литература.

1. Яблонская Е.К., Мачнева Н.Л. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы /В сборнике трудов «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., Кизка П.Д., Мачнева Н.Л. Высокобелковые растительные компоненты в пищевых продуктах. / В сборнике: 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., Мачнева Н.Л. Перспективы использования микроводоросли *Chlorella vulgaris* в пищевых продуктах/ В сборнике: 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., Мачнева Н.Л. Модифицированные питательные среды для культивирования микроводоросли / В сборнике: 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 выпуск А.Г. Коцаев. Краснодар, 2023. С. 947-950.

6. P. Tandon, Q. Jin, L. Huang, R. Song, A. Shan. Effects of tryptophan along with Sodium pyruvate and sodium thiosulfate on *Chlorella vulgaris* growth/ Waste and Biomass Valorization.-V.11.-967-982.-2020

7. A.Sharma, P.Sahoo, S.Singhal, A.Patel. Impact of various media and organic carbon sources on biofuel production potential from *Chlorella* spp. / Biotech.-2016.-V6.- p.116-143.

8. Bo Yang, J. Liu, Y. Jiang, F. Chen. *Chlorella* species as hosts for genetic engineering and expression of heterologous proteins: progress, challenge and perspective. Biotechnol. J.-2016.-V11(10).- p.1244-1261.

9. Зайцев В.В., Петряков В.В., Зайцева Л.М., Махитмова Ж.Н. Влияние питательной среды на морфологические особенности и жизнеспособность клеток микроводоросли *Chlorella Vulgaris* Beijer./ Самарский научный вестник.-2022.- Т.11, №2.

10. Фирсова М.С., Евграфова В.А., Потехин А.В. Подбор питательной среды и оптимизация режима глубинного культивирования *avibacterium paragallinarium*/Ветеринария сегодня.-№2(29).-2019.-с.12-16

11. Джамолов Ф.Б., Фридланд С.В. Влияние этилендиаминовой соли бис(гидроксиметил)фосфиновой кислоты на процесс прироста водоросли *Chlorella Vulgaris*./ Вестник технологического университета.-2017.- Т20.- №7.с.167-169

12. Зухрабова Л.М., Галиева А.М. Оптимизация биотехнологии выращивания хлореллы в лабораторных условиях./Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана.-2014. с.99-102.

13. Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Дранников А.В. Исследование процесса массового культивирования хлореллы методами планирования эксперимента. / Известия вузов. Пищевая технология. №2-3.- 2009.-с.57-60

14. Д. С. Дворецкий, М. С. Темнова, И. В. Маркина. Вопросы разработки эффективной биотехнологии синтеза ценных компонентов из биомассы микроводорослей/теоретические основы химической технологии, 2022, том 56, № 4, с. 418–433.

15. Митишев А.В., Семенова Е.Ф., Курдюков Е.Е. Влияние источников азота на накопление и белковость биомассы Хлореллы штамма IPPAS C-2019/Медицина и здравоохранение.-2021.-с.123-129.

16. Новокшенова А.Д., Храмов П.В., Раев М.Б. Применение хлореллы обыкновенной в биотехнологии и пищевой промышленности./ Вестник ПФИЦ.-2023.-с.32-42.

17. Митишева Н.В., Феднина А.С., Маканцева МГ. Маркетинговый анализ российского рынка альгопрепаратов/ Международный научно-исследовательский журнал.-№12(138).2025 - с.1-7.

18.Акимов А.И., Соломонова Е.А., Шоман Н.Ю Изменение скорости роста , флуорисцентных и цитометрических показателей у микроводоросли *Dunaliella salina* (Teod.) при разлчной концентрации меди в среде. /Сибирский экологический журнал.- №3(2023). С.343-356.

19. Тренкеншу Р.П. Расчет удельной скорости роста микроорганизмов./ Морской биологический журнал.-2019.-том 4.-№1, с.100-108.

20. Перспективные биотехнологии микроводорослей: учебное пособие / Д. С. Дворецкий, М. С. Темнов, Я. В. Устинская, М. А. Еськова. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2022. — 128 с.

21. 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, 08 мая 2026 года. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2026. — С. 25-28.

References

1. Yablonskaya E.K., Machneva N.L. Perspektivy primeneniya aminokislot i ikh kompleksov v biotekhnologii proizvodstva khlorelly /V sbornike trudov «Nauka, obrazovanie, obshchestvo: Tendentsii i perspektivy razvitiya». Materialy II vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Cheboksary, 2025. S. 10-12.

2. Audzhanova V.K. Morfologicheskie i sistematicheskie kharakteristiki khlorelly. Ee proizvodstvo i primeneniye / V. K. Audzhanova //Nauchnyi Vestnik. – 2014. – №1 (1). – S. 113–126.

3. Manuilova V.S., Kizka P.D., Machneva N.L. Vysokobelkovyye rastitel'nye komponenty v pishchevykh produktakh. / V sbornike: Sovremennyye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii.// Sbornik statei po materialam VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 20-letiyu kafedry tekhnologii khraneniya i pererabotki zhivotnovodcheskoi produktsii Kubanskogo GAU. Krasnodar, 2023. S. 168-170.

4. Golovko I.E., Machneva N.L. Perspektivy ispol'zovaniya mikrovodorosli chlorella vulgaris v pishchevykh produktakh/ V sbornike: Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo kompleksa.// Sbornik statei po materialam 78-i nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov po itogam NIR za 2022 god. V 3-kh chastyakh. Krasnodar, 2023. S. 898-901.

5. Mironova E.V., Machneva N.L. Modifitsirovannyye pitatel'nye sredy dlya kul'tivirovaniya mikrovodorosli / V sbornike: Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo kompleksa. // Sbornik statei po materialam 78-i nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov po itogam NIR za 2022 god. V 3-kh chastyakh. Otv. za vypusk A.G. Koshchayev. Krasnodar, 2023. S. 947-950.

6. P. Tandon, Q. Jin, L. Huang, R. Song, A. Shan. Effects of tryptophan along with Sodium pyruvate and sodium thiosulfate on *Chlorella vulgaris* growth/ Waste and Biomass Valorization.-V.11-.967-982.-2020

7. A.Sharma, P.Sahoo, S.Singhal, A.Patel. Impact of varius media and organic carbon sources on biofuel production potential from *Chlorella* spp. / Biotech.-2016.-V6.- p.116-143.

8. Bo Yang, J. Liu, Y. Jiang, F. Chen. Chlorella specials as hosts for genetic engineering and expression of heterologous proteins: progress, challenge and perspective. *Biotechnol. J.*-2016.-V11(10).- p.1244-1261.

9. Zaitsev V.V., Petryakov V.V., Zaitseva L.M., Makhitnova Zh.N. Vliyanie pitatel'noi sredy na morfologicheskie osobennosti i zhiznesposobnost' kletok mikrovdorosli Chlorella Vulgaris Beijer./ *Samarskii nauchnyi vestnik.*-2022.- T.11, №2.

10. Firsova M.S., Evgrafova V.A., Potekhin A.V. Podbor pitatel'noi sredy i optimizatsiya rezhima glubinnogo kul'tivirovaniya avibacterium paragallunarium/Veterinariya segodnya.-№2(29).-2019.-s.12-16

11. Dzhamolov F.B., Fridland S.V. Vliyanie ehtilendiaminovo soli bis(gidroksimetil)fosfinovo kisloty na protsess prirosta vdorosli Chlorella Vulgaris./ *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta.*-2017.- T20.- №7.s.167-169

12. Zukhrabova L.M., Galieva A.M. Optimizatsiya biotekhnologii vyrashchivaniya khlorelly v laboratornykh usloviyakh./ *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. Eh. Baumana.*-2014. s.99-102.

13. Shevtsov A.A., Shentsova E.S., Drannikov A.V. Issledovanie protsessa massovogo kul'tivirovaniya khlorelly metodami planirovaniya ehksperimenta. / *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya.* №2-3.- 2009.-s.57-60

14. D. S. Dvoret'skii, M. S. Temnova, I. V. Markina. Voprosy razrabotki ehffektivnoi biotekhnologii sinteza tsennyykh komponentov iz biomassy mikrovdoroslei/teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii, 2022, tom 56, № 4, s. 418–433.

15. Mitishev A.V., Semenova E.F., Kurdyukov E.E. Vliyanie istochnikov azota na nakoplenie i belkovost' biomassy Khlorelly shtamma IPPAS C-2019/Meditsina i zdavookhranenie.-2021.-s.123-129.

16. Novokshonova A.D., Khramtsov P.V., Raev M.B. Primenenie khlorelly obyknovnoi v biotekhnologii i pishchevoi promyshlennosti./ *Vestnik PFITs.*-2023.-s.32-42.

17. Mitisheva N.V., Fednina A.S., Makartseva MG. Marketingovy analiz rossiiskogo rynka al'gopreparatov/ *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal.*-№12(138).2025 - s.1-7.

18. Akimov A.I., Solomonova E.A., Shoman N.Yu. Izmenenie skorosti rosta , fluoristsentnykh i tsitometricheskikh pokazatelei u mikrovdorosli Dunaliella salina (Teod.) pri rorazlichnoi kontsntratsii medi v srede. /*Sibirskii ehkologicheskii zhurnal.*- №3(2023). S.343-356.

19. Trenkenshu R.P. Raschet udel'noi skorosti rosta mikroorganizmov./ *Morskoi biologicheskii zhurnal.*-2019.-tom 4.-№1, s.100-108.

20. Perspektivnye biotekhnologii mikrovdoroslei: uchebnoe posobie / D. S. Dvoret'skii, M. S. Temnov, Ya. V. Ustinskaya, M. A. Es'kova. — Tambov : Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, EHBS ASV, 2022. — 128 c.

21. Yablonskaya, E. K. Zamedlennaya fluorescenciya hlorofilla u Chlorella: sravnitel'nyj analiz zavisimosti struktura-aktivnost' / E. K. Yablonskaya // *Fundamental and applied approaches to solving scientific problems : Sbornik nauchnykh statej po materialam XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ufa, 08 maya 2026 goda.* – Ufa: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Nauchno-izdatel'skij centr "Vestnik nauki", 2026. – S. 25-28.