Taraqqiyot spektri
ILMIY JURNALI
Vol 2 № 6 2026

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РОСТ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ БИОМАССЫ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ИХ РАЗВИТИЯ

С. Рузиева

докторант направления «Биотехнология»

Annotatsiya: Mazkur maqolada mikrosuv o‘tlarining o‘sishi va rivojlanishiga ta’sir qiluvchi asosiy ekologik va fiziologik omillar tahlil qilingan. Yorug‘lik intensivligi, harorat, pH muhiti, ozuqa moddalari tarkibi hamda tuzlilik darajasining mikrosuv o‘tlari biomassa hosildorligiga ta’siri o‘rganilgan. Biomassa miqdorini oshirish maqsadida o‘stirish jarayonlarini boshqarishning zamonaviy yondashuvlari ko‘rib chiqilgan. Mikrosuv o‘tlaridan bioyoqilg‘i, farmatsevtika, oziq-ovqat va ekologik texnologiyalarda foydalanish istiqbollari yoritilgan. Kalit so‘zlar: mikrosuv o‘tlari, Chlorella vulgaris, biomassa, fotosintez, biotexnologiya, tuzlilik, o‘sish omillari.

Аннотация: В статье рассмотрены основные экологические и физиологические факторы, влияющие на рост и развитие микроводорослей. Проанализировано влияние интенсивности освещения, температуры, pH среды, состава питательных веществ и уровня солёности на продуктивность биомассы микроводорослей. Рассмотрены современные подходы к управлению процессами культивирования с целью повышения выхода биомассы. Освещены перспективы использования микроводорослей в производстве биотоплива, фармацевтической продукции, пищевой промышленности и экологических технологиях. Ключевые слова: микроводоросли, Chlorella vulgaris, биомасса, фотосинтез, биотехнология, солёность, факторы роста.

Abstract: The article examines the main ecological and physiological factors affecting the growth and development of microalgae. The effects of light intensity, temperature, pH, nutrient composition and salinity on biomass productivity are analyzed.

Taraqqiyot spektri

Modern approaches to cultivation management aimed at increasing biomass yield are discussed. The prospects of using microalgae in biofuel production, pharmaceuticals, food industry and environmental technologies are highlighted.

Keywords: microalgae, Chlorella vulgaris, biomass, photosynthesis, biotechnology, salinity, growth factors.

Одним из наиболее перспективных направлений современной биотехнологии является использование микроводорослей в качестве возобновляемого биологического ресурса. Высокая скорость роста, способность к интенсивному фотосинтезу и накоплению ценных биологически активных веществ делают микроводоросли важным объектом научных исследований и промышленного применения. В последние десятилетия интерес к микроводорослям значительно возрос в связи с необходимостью поиска альтернативных источников энергии, разработки экологически безопасных технологий и создания новых видов биологически активной продукции. По сравнению с традиционными сельскохозяйственными культурами микроводоросли обладают рядом преимуществ, включая высокую продуктивность, возможность выращивания на ограниченных площадях и способность использовать воды различной степени минерализации.

Особое место среди микроводорослей занимает Chlorella vulgaris. Данный вид характеризуется быстрым ростом, устойчивостью к изменяющимся условиям окружающей среды и высоким содержанием белков, липидов, витаминов и пигментов. Благодаря этим свойствам Chlorella vulgaris широко применяется в пищевой промышленности, фармацевтике, косметологии и производстве биотоплива.

Несмотря на значительные достижения в области культивирования микроводорослей, проблема повышения продуктивности биомассы остаётся актуальной. Рост и развитие микроводорослей зависят от множества факторов внешней среды, среди которых особое значение имеют освещение, температура,

Taraqqiyot spektri

кислотность среды, содержание питательных веществ и уровень минерализации воды.

Изучение влияния указанных факторов позволяет разрабатывать эффективные методы управления процессами культивирования и повышать выход биомассы, что имеет важное значение для промышленного использования микроводорослей. Целью настоящей работы является анализ основных факторов, влияющих на рост микроводорослей, а также рассмотрение современных подходов к повышению продуктивности биомассы путём оптимизации условий культивирования.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Микроводоросли представляют собой обширную группу фотосинтезирующих микроорганизмов, включающую тысячи видов, различающихся по морфологическим, физиологическим и биохимическим характеристикам. По данным многочисленных исследований, продуктивность микроводорослей значительно превышает продуктивность большинства наземных растений. Согласно данным Richmond и Hu (2013), продуктивность некоторых видов микроводорослей может достигать 20–40 г сухой биомассы на квадратный метр в сутки. Высокая скорость роста обусловлена эффективным использованием солнечной энергии и интенсивным обменом веществ. Исследования Becker (2016) показали, что представители рода Chlorella способны накапливать до 50 % белка от сухой массы клеток. Кроме того, клетки содержат незаменимые аминокислоты, витамины группы B, аскорбиновую кислоту, каротиноиды и другие биологически активные соединения. В работах Borowitzka (2018) отмечается, что одним из ключевых факторов успешного культивирования микроводорослей является оптимизация условий окружающей среды. Даже незначительные изменения параметров культивирования способны существенно влиять на скорость роста клеток и накопление биомассы.

Особое внимание исследователей уделяется изучению светового режима. Свет является основным источником энергии для фотосинтетического аппарата микроводорослей. Эффективность фотосинтеза напрямую зависит от интенсивности

Taraqqiyot spektri

и спектрального состава освещения. Недостаток света приводит к снижению синтеза органических веществ, тогда как избыточное освещение может вызывать повреждение фотосистем и снижение продуктивности культуры.

По данным Chisti (2007), оптимизация условий культивирования позволяет существенно повысить выход липидов и других ценных метаболитов. Это особенно важно при использовании микроводорослей в производстве биотоплива. Современные исследования также свидетельствуют о возможности выращивания отдельных видов микроводорослей в условиях повышенной минерализации. Данное направление приобретает особую актуальность для регионов с ограниченными запасами пресной воды, включая территорию Приаралья. Использование минерализованных вод может способствовать снижению затрат на культивирование и расширению масштабов производства биомассы.

Большой интерес представляет изучение механизмов адаптации микроводорослей к солевому стрессу. В условиях повышенной солёности клетки активируют защитные механизмы, связанные с синтезом осмопротекторов и изменением структуры клеточных мембран. Эти процессы позволяют сохранять жизнеспособность культуры и обеспечивать её дальнейший рост.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются микроводоросли, представляющие значительный интерес для современной биотехнологии благодаря высокой скорости роста, способности к накоплению биомассы и широкому спектру практического применения. В качестве модельного объекта рассмотрен вид Chlorella vulgaris, который является одним из наиболее изученных представителей зелёных микроводорослей. В работе использован анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых изучению влияния факторов окружающей среды на рост микроводорослей и накопление биомассы. Проведено сравнение результатов исследований различных авторов с целью выявления наиболее значимых параметров культивирования. Особое внимание уделено следующим факторам: интенсивность

Taraqqiyot spektri

освещения; температурный режим; кислотность среды (pH); содержание питательных веществ; уровень минерализации и солёности среды; обеспечение культуры углекислым газом.

Полученные литературные данные были систематизированы и проанализированы для определения оптимальных условий культивирования, способствующих повышению продуктивности биомассы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние освещения на рост микроводорослей Освещение является одним из важнейших факторов, определяющих эффективность фотосинтетической активности микроводорослей. Свет обеспечивает клетки энергией, необходимой для синтеза органических веществ и формирования биомассы. Результаты многочисленных исследований показывают, что увеличение интенсивности освещения сопровождается ускорением роста культуры лишь до определённого предела. При недостатке света наблюдается снижение скорости фотосинтеза, что приводит к уменьшению накопления органического вещества и замедлению клеточного деления.

Однако чрезмерно высокая интенсивность освещения также может оказывать отрицательное воздействие. В таких условиях развивается явление фотоингибирования, при котором происходит повреждение фотосистем и снижение эффективности фотосинтетического аппарата.

Для большинства штаммов Chlorella vulgaris оптимальными считаются умеренные уровни освещения, обеспечивающие максимальную продуктивность культуры без возникновения стрессовых реакций. Кроме интенсивности света большое значение имеет его спектральный состав. Исследования показывают, что красный и синий диапазоны спектра наиболее эффективно используются клетками в процессе фотосинтеза. Использование светодиодных источников освещения позволяет регулировать спектральный состав света и повышать эффективность культивирования.

Taraqqiyot spektri

Влияние температуры на накопление биомассы Температура оказывает существенное влияние на скорость метаболических процессов в клетках микроводорослей. Активность ферментов, интенсивность фотосинтеза и скорость деления клеток напрямую зависят от температурного режима. Для большинства видов микроводорослей оптимальная температура находится в диапазоне 20–30 °C. В этих условиях наблюдается максимальная скорость роста и накопления биомассы.

Понижение температуры приводит к замедлению биохимических реакций и снижению интенсивности фотосинтеза. В результате уменьшается скорость роста культуры и снижается её продуктивность. Повышение температуры выше оптимальных значений вызывает нарушение структуры белков и ферментов, что негативно отражается на физиологическом состоянии клеток. При длительном воздействии высоких температур возможно угнетение роста и гибель части популяции. Поддержание стабильного температурного режима является важным условием эффективного культивирования микроводорослей в лабораторных и промышленных условиях.

Влияние кислотности среды (pH) Одним из важных факторов, определяющих успешность культивирования микроводорослей, является кислотность среды. Значение pH оказывает влияние на доступность минеральных элементов питания, активность ферментов и интенсивность физиологических процессов.

Большинство представителей рода Chlorella лучше развиваются в нейтральной или слабощелочной среде. В таких условиях клетки эффективно усваивают питательные вещества и демонстрируют высокую скорость роста. Смещение pH в кислую сторону может вызывать нарушение работы ферментных систем и снижение активности фотосинтеза. Чрезмерно щелочная среда также способна ограничивать доступность отдельных элементов питания.

Поэтому контроль кислотности является обязательным элементом современных технологий культивирования микроводорослей.

Taraqqiyot spektri

Роль питательной среды в повышении продуктивности культуры

Питательная среда является источником макро- и микроэлементов, необходимых для нормального роста клеток. Наиболее важными элементами являются азот и фосфор. Азот необходим для синтеза белков, аминокислот и нуклеиновых кислот. Фосфор участвует в энергетическом обмене и обеспечивает процессы клеточного деления.

Недостаток азота приводит к замедлению роста культуры и снижению содержания белков в клетках. В то же время ограничение азотного питания может стимулировать накопление липидов, что представляет интерес для производства биотоплива. Фосфорное голодание также сопровождается уменьшением продуктивности культуры и снижением интенсивности фотосинтетических процессов.

Кроме макроэлементов важную роль играют железо, магний, кальций, цинк и другие микроэлементы, входящие в состав ферментов и пигментных систем.

Оптимизация состава питательной среды позволяет значительно увеличить выход биомассы и улучшить её биохимические характеристики.

Влияние солёности среды на развитие микроводорослей. Изучение влияния солёности представляет особый интерес в связи с необходимостью использования альтернативных водных ресурсов для культивирования микроводорослей. Повышение концентрации солей вызывает осмотический стресс, который может приводить к изменению физиологического состояния клеток. Однако многие виды микроводорослей обладают высокой адаптационной способностью и способны успешно развиваться в условиях повышенной минерализации. В ответ на воздействие солевого стресса клетки активируют механизмы защиты, направленные на сохранение водного баланса и поддержание стабильности внутриклеточной среды. К числу таких механизмов относится синтез осмопротекторных веществ и изменение состава клеточных мембран. Для регионов Приаралья особый интерес представляет возможность культивирования микроводорослей в воде с повышенной

Taraqqiyot spektri

минерализацией. Использование подобных водных ресурсов позволяет сократить потребление пресной воды и расширить масштабы промышленного выращивания микроводорослей.

Результаты исследований показывают, что отдельные штаммы Chlorella vulgaris способны сохранять высокую жизнеспособность и продуктивность даже при значительном уровне солёности среды.

Управление процессами роста для повышения биомассы. Современные биотехнологические подходы направлены на создание оптимальных условий культивирования микроводорослей с целью максимального накопления биомассы.

Наиболее эффективными методами повышения продуктивности являются:

- оптимизация светового режима;
- поддержание стабильной температуры;
- регулирование уровня pH;
- совершенствование состава питательной среды;
- дополнительная подача углекислого газа;
- использование высокопродуктивных штаммов.

Комплексное применение указанных методов позволяет существенно увеличить выход биомассы и повысить экономическую эффективность производства.

Кроме того, перспективным направлением является использование фотобиореакторов нового поколения, обеспечивающих автоматический контроль параметров среды и создание оптимальных условий для роста культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроводоросли являются одним из наиболее перспективных объектов современной биотехнологии благодаря высокой скорости роста, способности эффективно использовать солнечную энергию и накапливать значительное количество биологически ценных соединений. Их применение охватывает широкий спектр направлений, включая производство биотоплива, пищевых добавок,

Taraqqiyot spektri

фармацевтической продукции, косметических средств и технологий биологической очистки окружающей среды.

Проведённый анализ научной литературы показал, что продуктивность микроводорослей в значительной степени определяется условиями культивирования. Среди основных факторов, влияющих на рост и накопление биомассы, особое значение имеют интенсивность освещения, температурный режим, кислотность среды, обеспеченность элементами минерального питания и уровень солёности.

Установлено, что оптимизация светового режима способствует повышению эффективности фотосинтеза и увеличению скорости клеточного деления. Поддержание температуры в пределах физиологического оптимума обеспечивает максимальную активность ферментативных процессов и способствует интенсивному накоплению биомассы.

Важную роль играет регулирование кислотности среды. Поддержание оптимального уровня pH создаёт благоприятные условия для усвоения питательных веществ и стабильного функционирования клеточных систем. Не менее значимым фактором является состав питательной среды. Рациональное соотношение макро- и микроэлементов позволяет значительно повысить продуктивность культуры и улучшить качественные характеристики получаемой биомассы.

Особый научный и практический интерес представляет изучение влияния солёности на развитие микроводорослей. Результаты исследований свидетельствуют о возможности успешного культивирования отдельных видов в условиях повышенной минерализации. Это открывает перспективы использования солоноватых и минерализованных вод для промышленного выращивания микроводорослей, особенно в регионах с ограниченными ресурсами пресной воды.

Современные методы управления процессами культивирования, включая применение фотобиореакторов, автоматизированных систем контроля параметров среды и селекцию высокопродуктивных штаммов, позволяют существенно повысить выход биомассы и эффективность биотехнологических процессов.

Taraqqiyot spektri

Таким образом, комплексное управление условиями выращивания микроводорослей является эффективным инструментом повышения продуктивности биомассы и расширения возможностей практического использования данных организмов в различных отраслях экономики. Дальнейшие исследования в данном направлении будут способствовать развитию экологически безопасных и ресурсосберегающих биотехнологий будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Richmond A., Hu Q. Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. Wiley-Blackwell, 2013.
2. Becker E.W. Microalgae: Biotechnology and Microbiology. Cambridge University Press, 2016.
3. Borowitzka M.A. Microalgae in Health and Disease Prevention. Academic Press, 2018.
4. Barsanti L., Gualtieri P. Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology. CRC Press, 2014.
5. Chisti Y. Biodiesel from microalgae // Biotechnology Advances. 2007. Vol. 25. № 3. P. 294–306.
6. Pulz O., Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae // Applied Microbiology and Biotechnology. 2004. Vol. 65. P. 635–648.
7. Singh J., Gu S. Commercialization potential of microalgae for biofuels production // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14. P. 2596–2610.
8. Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14. P. 217–232.
9. Brennan L., Owende P. Biofuels from microalgae — A review of technologies for production, processing and extraction // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14. P. 557–577.
10. Wijffels R.H., Barbosa M.J. An outlook on microalgal biofuels // Science. 2010. Vol. 329. P. 796–799.

Taraqqiyot spektri

11. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae // Journal of Bioscience and Bioengineering. 2006. Vol. 101. P. 87–96.
12. Demirbas A. Use of algae as biofuel sources // Energy Conversion and Management. 2010. Vol. 51. P. 2738–2749.
13. Hu Q., Sommerfeld M., Jarvis E. et al. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production // Plant Journal. 2008. Vol. 54. P. 621–639.
14. Converti A., Casazza A.A., Ortiz E.Y. et al. Effect of temperature and nitrogen concentration on growth and lipid content of microalgae // Chemical Engineering and Processing. 2009. Vol. 48. P. 1146–1151.
15. Lavens P., Sorgeloos P. Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. Rome, 1996.
16. Andersen R.A. Algal Culturing Techniques. Academic Press, 2005.
17. Becker W. Microalgae for aquaculture: nutritional aspects // Handbook of Microalgal Culture. 2013. P. 671–691.
18. Borowitzka M.A., Moheimani N.R. Algae for Biofuels and Energy. Springer, 2013.
19. Kumar K., Dasgupta C.N., Nayak B. et al. Development of suitable photobioreactors for algae production // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol. 15. P. 533–544.
20. Ugwu C.U., Aoyagi H., Uchiyama H. Photobioreactors for mass cultivation of algae // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. P. 4021–4028.
21. Posten C. Design principles of photobioreactors for cultivation of microalgae // Engineering in Life Sciences. 2009. Vol. 9. P. 165–177.
22. Chen C.Y., Yeh K.L., Aisyah R. et al. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102. P. 71–81.
23. Lee Y.K. Microalgal mass culture systems and methods // Aquaculture. 2001. Vol. 201. P. 289–305.
24. Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology // Biomolecular Engineering. 2003. Vol. 20. P. 459–466.
25. Tredici M.R. Photobiology of microalgae mass cultures // Handbook of Microalgal Culture. 2013. P. 312–326.

Taraqqiyot spektri