

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ТЕЛЕВІЗІЙНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ БІОРЕАКТОРА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ХЛОРЕЛИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація У даній статті розглянуто особливості хлорели в якості корисного продукту для підвищення ефективності сільського господарства. Зазначено важливість використання мікроводорості в різних галузях. Проаналізовано культиватор та подано його схему. Досліджено особливості мультиспектрального контролю параметрів фотобіореактора для вирощування хлорели.

Ключові слова: хлорела, культиватор, штучні умови вирощування

Abstract This article describes the features of chlorella as a useful product to improve agriculture. Indicated importance of microalgae in different fields. Cultivator analyzed and presented his scheme. The features of multispectral control of photobioreactor parameters for chlorella growth are investigated.

Keywords: chlorella, grubber, artificial growing conditions

Вступ

Хлорела вульгаріс (*Chlorella vulgaris*) – це мікроскопічна рослина, представник зелених водоростей. Має вигляд мікроскопічної нерухокої (без джгутиків) кульки від 2 до 10 мкм у діаметрі. Хлорела – це представник роду одноклітинних зелених водоростей. Цю водорість використовують в тваринництві як корм. Хлорела є активним продуцентом біомаси і містить повноцінні білки, жири, вуглеводи і вітаміни. Хлорела входить в категорію «суперпродуктів». Серед рослин, хлорела стоїть на першому місці за дуже багатьма показниками. Так, наприклад, в біомасі хлорели білків становить 40-60%, вуглеводів - 30-35%, ліпідів 5-10% і до 10% мінеральних речовин.

Метою статті є підвищення достовірності контролю параметрів фітобіореактора для вирощування хлорели в штучних умовах.

Основна частина

Хлорела невибаглива до умов існування і завдяки простому життєвому циклу здатна до інтенсивного розмноження, тому є космополітом: у прісних водоймах, морях, ґрунті та аерофітоні. Може бути симбіонтом найпростіших та фікобіонтом лишайників. У вологу погоду на чорній корі дерев з'являється зелений наліт. Такий же наліт можна побачити і на вологому ґрунті. Зелений наліт на корі дерев теж складається з таких же кульок – хлорели. У воді, освітленій сонцем, вона швидко розмножується. Вміст клітинки хлорели ділиться на 4, 8, 16 частин, утворюються маленькі кульки – «спори». Вони розривають оболонку материнської клітини і плавають у воді, починаючи самостійне життя. Харчуються ці зелені кульки розчинними у воді солями і вуглекислим газом і ростуть, утворюючи в своєму тільці жири, білки і цукор і виділяючи на світлі кисень [1].

Хлорела використовує 25 – 30% сонячної енергії, у той час як квіткові рослини – тільки 7-13%. Клітина хлорели – зручний об'єкт для різних досліджень. Хлорела – основний об'єкт масового культивування водоростей для практичного використання в різних напрямках, вона є першою водорістю, що започаткувала фікотехнологію. Значну роль у формуванні підвищеного інтересу до неї відіграв її хімічний склад. У перерахунку на суху речовину водорість містить повноцінних білків 40% і більше, ліпідів – до 20%, вуглеводів – до 35%, зольних речовин – до

10%. Є вітаміни групи В, аскорбінова кислота (віт. С) і філохінони (віт. К). Знайдено речовину, яка має антибіотичну активність – «хлорелін».

Застосування хлорели в різних областях діяльності людини дуже широке:

- в сільському господарстві для підживлення рослин, птахів і тварин, в бджільництві і рибному господарстві;
- в харчовій промисловості;
- в медицині, косметології та парфумерії;
- для очищення стічних вод і реабілітації водою;
- для виробництва кисню;
- для виробництва біопалива [2].

Відомо, що хлорела завдяки своїм властивостям дозволяє:

- різке, до 4-5 разів, скорочення падежу молодняку за рахунок зміцнення природного імунітету тварин;
- значне продовження термінів господарського використання тварин;
- збільшення плодючості батьківського стада, економії на ветпрепаратах;
- підвищення засвоюваності кормів, що дозволяє економити їх витрачання до 22% [3].

Завданням статті є створення культиватора, який буде забезпечувати водорості усіма необхідними умовами для їх життя і розмноження. Найважливішим параметром, який впливає на процес зростання мікроводоростей, є світло. І як джерело світла в закритих установках традиційно застосовують лампи розжарювання, в тому числі кварцові галогенні зі світловідбивачами, дзеркальні лампи, люмінесцентні. Використовують також дугові ртутні люмінесцентні, ксенонові, натрієві. У порівнянні з природними джерелами світла штучні джерела можуть створювати велику опроміненість, ніж сонячне світло.

Для культивування мікроводоростей застосовується спеціальний пристрій, що зазвичай називають установкою або реактором. Продуктивність мікроводоростей в основному залежить від типу і конструктивних особливостей цих установок.

Перш за все, необхідно провести ряд експериментів, які дозволять визначити спектр чутливості хлорели, а також підібрати спектр опромінення, при якому приріст концентрації хлорели в суспензії буде максимальним. Але необхідно враховувати, що швидке зростання при монохроматично випромінюванні може вплинути на якісні характеристики мікроводорості.

Форма культиватора є також важливою частиною, тому що це вирішить проблему втрат випромінювання, яка існує в застосовуваних культиваторах на сьогоднішній день. Був проведений аналіз форми реактора мікроводоростей ФБР-150. Передбачено вибір найбільш придатної форми культиватору для забезпечення найменших втрат випромінювання і для найкращого забезпечення мікроводоростей усіма необхідними умовами [4].

При збільшенні концентрації хлорели в суспензії неминуче буде зменшуватися коефіцієнт пропускання випромінювання. Планується також врахувати цей фактор у проекті під час моделювання геометричних характеристик резервуара для культиватора.

Більш того, в проекті має місце автоматизація. Прогнозується створити культиватор з постійним контролем необхідних параметрів для зростання водоростей.

Поставлена задача досягається тим, що в способі мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів фітопланктону у водних середовищах, який полягає у відборі проб фітопланктону, визначенні якісного та кількісного складу клітин мікроводоростей, отримані дані порівнюють з нормованими значеннями, здійснюють проточний мультиспектральний телевізійний вимірювальний аналіз фітопланктону неперервної дії, при якому досліджують мультиспектральні зображення фітопланктону у проточній вимірювальній кюветі отримані на характеристичних довжинах хвиль пігментів фітопланктону за допомогою телевізійної CCD-камери у спеціалізованому процесорі у режимі реального часу, визначають концентрацію та середній розмір частинок фітопланктону у пробі [6-29].

Значну частку відходів антропогенного походження складають біогенні органічні відходи. При надходженні таких відходів зі стічними водами у навколишнє середовище відбувається погіршення екологічного стану водою та зниження якості поверхневих вод. Однак біогенні речовини, що скидаються у стічні води, можуть бути джерелом живлення фітопланктону у фотобіореакторах станцій очищення стічних вод [15].

Для підтримування оптимальних умов у фотобіореакторі необхідно контролювати концентрацію фітопланктону у реакторі, температуру та освітленість у певному діапазоні значень. Пропонується контролювати концентрацію частинок фітопланктону за допомогою

мультиспектрального методу, який полягає у порівнянні масивів зображень культури фітопланктону, отриманих *in vitro* за допомогою ПЗЗ-камери на характеристичних довжинах хвиль пігментів. Також можливо контролювати концентрацію фітопланктону у фотобіореакторі *in situ* на основі визначення кольору у проточному резервуарі та порівняння його зі шкалою кольорів, що відповідає відомим концентраціям. При цьому реєстрація кольору також здійснюється ПЗЗ-камерою, а прийняття діагностичного рішення виконується експертною системою на основі нечіткої логіки [14].

При використанні фітопланктону для виробництва біопалива чи біогазу слід вибирати той вид фітопланктону, що дозволить отримати з однакової площі реактора більший об'єм біомаси. У цьому випадку перспективними для використання є синьо-зелені водорості. Вони володіють надзвичайно високою стійкістю до забруднюючих та токсичних речовин, які можуть потрапляти у стічні води. Крім того, синьо-зелені водорості за рахунок своїх фізіологічних особливостей створюють сприятливе середовище для розвитку в симбіозі з іншими групами мікроорганізмів. В результаті змішана культура може здійснювати повну чи часткову деструкцію складних органічних сполук, у тому числі пестициди, нафтопродуктів тощо [12].

Висновки

Хлорела цікавить вчених як сировина для одержання нових продуктів харчування. Більше того, для отримання рослинної продукції намічають використовувати моря і океани, які займають 2/3 поверхні нашої планети. Хлорелу розводять тепер і в стічних водах в басейнах біля заводів. Тому застосування культиватора для вирощування хлорели є важливим питанням, адже він буде забезпечувати водорості усіма необхідними умовами для їх життя і розмноження.

Мультиспектральний контроль параметрів фотобіореактора для вирощування хлорели забезпечує високу достовірність контролю його параметрів та підвищує ефективність біотехнологічного виробництва хлорели.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона / А. П. Садчиков. – М.: Университет и школа, 2003. – 157 с.
2. Руупа М. Биологические методы исследования водоемов в Финляндии / М. Руупа, П. Хейнонен. – Helsinki : SUOMEN YMPARISTOKESKUS, 2006. – 112 с.
3. Золотарьова О. К. Перспективи використання мікрводоростей у біотехнології / [О. К. Золотарьова, Є. І. Шнюкова, О. О. Сиваш та ін.] ; під ред. О. К. Золотарьової. К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
4. Методические указания. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем: РД 52.24.633-2002. – [Введ. 2002-04-24]. – М. : Росгидромет, 2002. – 37 с.
5. Зорі А. А. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ / А. А. Зорі, В. Д. Коренєв, М. Г. Хламов. – Донецьк : РВА ДонДТУ, 2000. – 368 с.
6. Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / [В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, А. О. Слободянюк, Я. І. Безусяк.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – № 1(29). – С. 145–149.
7. Телевізійний вимірювальний контроль забруднення води хлорорганічними сполуками методом біоіндикації по фітопланктону / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Петрук Р.В., Стискал О.А., Слободянюк А.О., Почапська А.В. // Збірник тез доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції Оптикоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2015», м.Вінниця, 21-23 квітня 2015 року. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С.120.
8. Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів за допомогою біоіндикації по фітопланктону / Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Стискал О. А., Безусяк Я. І., Давиденко В. О., Кочерга Н. О.// Екологічна безпека держави: тези доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. м. Київ, 16 квітня 2015 р., Національний авіаційний університет / редкол. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2015. – С.118.
9. Дистанційний мультиспектральний телевізійний моніторингу забруднення за концентрацією частинок фітопланктону / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Іванов А.П., Барун В.В., Безусяк Я.І.// V-й

- Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2015), 23–26 вересня, 2015. Збірник наукових праць. – Вінниця: ДІЛО, 2015. – С. 247.
10. Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / [Петрук В.Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О.Є., Петрук Р.В.] // Патент України №99580МПК (2006) G01N 21/21 / заявл. 05.01.2015; опубл. 10.06.2015; Бюл. № 11. – 5 с.
11. Оптичні засоби та методи контролю концентрації фітопланктону у водних об'єктах / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Васильківський І.В., Козак Я.Л. // Збірник матеріалів 3-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м.Львів, 17–19 вересня 2014 р., Львів, – 2014. – С. 45.
12. Екологічний контроль забруднення р. Згар біогенними та токсичними речовинами методами біоіндикації по фітопланктону / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Гончарук В.В., Гриник Л.І. // Збірник матеріалів 3-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м.Львів, 17–19 вересня 2014 р., Львів, – 2014. – С. 46.
13. Дослідження впливу хімічних сполук у складі косметичних миючих засобів на довкілля методом біоіндикації по фітопланктону / Петрук В.Г., Іщенко В.А., Кватернюк С.М., Майка Л.М. // Збірник матеріалів 3-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м.Львів, 17–19 вересня 2014 р., Львів, – 2014. – С. 29.
14. Контроль забруднення водних об'єктів біогенними сполуками на основі дослідження фітопланктону / В. Петрук, С. Кватернюк, І. Васильківський, І. Садовська, Т. Середюк // Друга міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС -2013)», 29-30 жовтня, 2013 р. Збірник тез доповідей. – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – С. 30.
15. Контроль концентрації фітопланктону у фотобіореакторах / [В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, Ю. Ю. Сидорчук] // Збірник матеріалів 2-го Міжнародного конгресу "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування". 19-22 вересня, 2012. – Львів. – С.46.
16. Оцінювання екологічного стану водних об'єктів м. Вінниці на основі показників біоіндикації по фітопланктону / [С. М. Кватернюк, В. А. Іщенко, О. Є. Кватернюк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6. – С. 13–16.
17. Методика оцінювання токсичності стічних вод за допомогою біоіндикації по фітопланктону / [В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, Я. Ю. Вишневецька та ін.] // Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. – 21-24 вересня, 2011, –Том 1.– Вінниця: ВНТУ, 2011. – С.373–377.
18. Контроль інтегрального рівня токсичності стічних вод за допомогою біоіндикації по фітопланктону / [В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк] // Збірник матеріалів I МНК «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних (ВКДТС -2011)».- Вінниця: ВНТУ, 18-20 жовтня. – 2011.– С.211.
19. Автоматизований контроль екологічного стану водних об'єктів на основі спектрополяриметричних досліджень фітопланктону / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк // Вісник Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна . – 2010. – №893. – С. 43–48.
20. Контроль стану водних об'єктів методом Зелінки-Марвана з використанням спектрополяриметричних зображень частинок фітопланктону / [О. О. Цвенько, С. М. Кватернюк, Я. В. Мороз та ін.] // Географія, геоекологія, геологія: досвід наукових досліджень: VII міжнар. наук. конф., 11-14 травня 2010 р.: матеріали конф. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 142–143.
21. Автоматизований контроль екологічного стану водних об'єктів на основі спектрополяриметричних досліджень фітопланктону / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк // Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2010: XIII міжнар. наук.-практ. конф., 31 березня – 2 квітня 2010 р.: матеріали конф. – Харків, 2010. – С. 15–20.
22. Спектрополяриметричний контроль концентрацій частинок полідисперсних водних середовищ. Монографія / С. М. Кватернюк, В. Г. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 156 с.
23. Petruk V. Experimental studies of phytoplankton concentrations in water bodies by using of multispectral images / Petruk V., Kvaternyuk S., Pohrebennyk V. et al. // Water Supply and Wastewater

- Removal. Editors: Henryk Sobczuk, Beata Kowalska. – Lublin : Lublin University of Technology, 2016. – P.161–171.
24. Ishchenko V. Assessment of water pollution by bioindication method / V. Ishchenko, S. Kvaternyuk, O. Styskal // Water Security. Editors: O. Mitryasova, C. Staddon. – Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. – P. 21-30.
25. Petruk V. Multispectral Methods and Means of Water Pollution Monitoring by Using Macrophytes for Bioindication/ V. Petruk, S. Kvaternyuk, O. Bondarchuk et al. // Water Security. Editors: O. Mitryasova, C. Staddon. – Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. – P.131-141.
26. Martsenyuk V. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton / V. Martsenyuk, V. G. Petruk, S. M. Kvaternyuk et al. // 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016), Oct. 16-19, 2016 in HICO, Gyeongju, Korea. – P. 988–993.
27. The method of multispectral image processing of phytoplankton for environmental control of water pollution / V. Petruk, S. Kvaternyuk, V. Yasynska, A. Kozachuk, A. Kotyra, R. S. Romaniuk, N. Askarova // Proc. SPIE, Optical Fibers and Their Applications, 2015. Vol. 9816, 98161N (17 December 2015). – P. 98161N-1–98161N-5; doi: 10.1117/12.2229202.
28. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton / Vasiliy Petruk, Sergiy Kvaterniuk, Volodymyr Pohrebennyk, Yana Bezusiak // Proceeding of the International Conference "New Trends in Ecological and Biological Research", University of Presov in Presov, Presov, Slovak Republic. – 2015. – P.92.
29. The spectral polarimetric control of phytoplankton in photobioreactor of the wastewater treatment / V.G. Petruk, S. M. Kvanternyuk; Y. M. Denysiuk; K. Gromaszek // Proc. SPIE, Optical Fibers and Their Applications, 2012, Vol. 8698, 86980H. – P. 86980H-1–86980H-4.

Кватернюк Сергій Михайлович – докторант, кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. E-mail: serg.kvaternuk@gmail.com

Безусяк Яна Іванівна — студентка групи ЕКО-16м, інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Kvaternyuk Sergei Mikhailovich – doctoral student, Ph.D., Associate Professor of the Department of Ecology and ecological safety, Vinnytsia National Technical University, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Bezussyak Yana I. — Department of Ecological safety and Monitoring of environment, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vntu0812001@gmail.com