ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 606:621.3+ 620.951/952+574.46
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.6

РОЛЬ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ ЕЛЕКТРОБІОСИСТЕМ

Русин І.Б., Дячок В.В.
Національний університет «Львівська Політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів
ib7@i.ua

Рослинно-мікробні електробіосистеми є екологічним альтернативним джерелом енергії. Їхня робота базується на зборі біоелектрики, яку продукують ризосферні мікроорганізми, що знаходяться у тісному взаємозв'язку з рослинами. Під час розвитку рослини виділяють через коріння органічні речовини, які виступають донорами електронів для електроактивних мікроорганізмів, які, у свою чергу, внаслідок метаболізму передають їх на катод і анод. Незважаючи на екологічність електробіосистем, поки що економічно невигідно використовувати їх у масштабних обсягах через поточну низьку вихідну потужність. Способами підвищення електропродуктивності електробіосистем є вдосконалення як технічних, так і біологічних елементів, до яких належать конструювання оптимальних електродних схем із ефективною міжелектродною відстанню, оптимізація співвідношення площ катодної та анодної і сумарної електродної площі до певного об'єму субстрату електробіосистеми, використання нових електродних матеріалів, рослин і субстратів, створення оптимальних умов роботи. У цій статті вивчено вплив періодичного перемішування природного водного субстрату в електробіосистемах із ряскою на її біоелектричні параметри з метою виявлення оптимальних умов функціонування в лабораторії. У дослідженнях використано електробіосистеми із рослин забруднених канав довкола м. Львова, однієї пари електродів із приєднаними резисторами 130 Ом або 1030 Ом, забрудненої води канав із додаванням свіжої води як субстрату. 10-15-секундне перемішування субстрату призводило до росту біоелектричного потенціалу у 2,18-3,00 рази за використання навантаження 130 Ом та у 1,25-1,63 рази – за 1130 Ом. Виявлений ефект має перспективи як спосіб підвищення електропродуктивності електробіосистем, які базуються на водних рослинах. *Ключові слова:* відновлювана енергія, біоелектрика, електрод, електробіосистема, рослина.

The role of substrate mixing for efficiency of aquatic electro-biosystems. Rusyn I., Djachok V.
Plant-microbial electro-biosystems are an environmentally friendly alternative energy source. Their operation is based on the collection of bioelectricity produced by rhizosphere microorganisms that are in close contact with plants. In the process of plant development, organic substances are released through the roots, which act as electron donors for electroactive microorganisms, which transfer them to the cathode and anode as a result of their metabolism. But despite the environmental friendliness of electro-biosystems, it is not yet economically viable to use them on a large scale due to low the current output capacity. Ways to increase the electrical productivity of electro-biosystems are to improve both technical and biological elements, which include the design of optimal electrode circuits with effective interelectrode distance, optimization of the ratio of cathodic and anode and total electrode area to a certain volume of substrate electro-biosystem, use new electrode materials, new plants and substrates, creating optimal working conditions. This paper examines the effect of periodic mixing and aeration of natural aqueous substrate in electro-biosystems with duckweed on their bioelectrical parameters in order to identify optimal conditions for their operation in the laboratory. The studies used electro-biosystem with a plant from polluted ditches around Lvov, one pair of electrodes and connected resistors 130 Ohm or 1030 Ohm and polluted ditch water with the addition of fresh water as their substrate. A 10-15 second mixing of the substrate led to an increase in the bioelectric potential 2.18 – 3.00 times at 130 Ohm and 1.25 – 1.63 times at 1130 Ohm. The discovered effect has prospects as a way to increase the electrical productivity of electro-biosystems based on aquatic plants. *Key words:* renewable energy, bioelectricity, electrode, electro-biosystem, plant

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Вдосконалення умов функціонування рослинно-мікробних електробіосистем, зокрема перемішування їх водного субстрату, є маловивченим питанням і водночас важливим для підвищення їх потужності [1; 2]. У мікробних електробіосистемах було продемонстровано, що роль масового переносу є досить значною через вплив на перенесення протонів [3]. Конвекція/дифузія транспорту реагенту може посилюватися за рахунок збільшення середньої швидкості потоку [4], що врешті-решт може підвищити густину потужності внаслідок ефективного контролю потоку субстрату [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджень ролі впливу потоку субстрату на роботу електробіосистем, які базуються на рослинах, є небагато. В електробіосистемі, що базується на зелених водоростях *Chlamydomonas reinhardtii,* було показано, що зі збільшенням швидкості перемішування субстрату зростала її густина потужності, а внутрішній опір зменшувався [2]. В електробіосистемі, основою якої був *Phragmatis spp.,* перемішування і потік субстрату використовувалися для підвищення концентрації органічних сполук для електроактивних мікроорганізмів та усунення надлишку протонів на анодній поверхні [5].

Мета та завдання дослідження. Беручи до уваги недостатній рівень вивчення і важливість контролю потоку субстрату для генерації біоелектрики рослинно-мікробними електробіосистемами, ми поставили перед собою завдання дослідити вплив перемішування субстрату на біоелектричний потенціал і силу струму електробіосистем із *Lemna minor* у лабораторних умовах із метою виявлення способів підвищення ефективності продукування біоелектрики.

Виклад основного матеріалу.

Методи дослідження. Для проведення експериментів були конструйовані електробіосистеми з *L. minor L.*, отриманої із забруднених канав, розташованих поблизу м. Львова. Рослину у кількості 60 листків/мл поміщали у прозорі пластикові контейнери діаметром 120 мм і висотою 120 мм. Забруднену воду канав із додаванням свіжої води використовували як середовище для розвитку ряски. В якості електродних систем використовувалися пари електродів [6] таких розмірів: катод – 87 мм х 28 мм х 14 мм або 55 мм х 14 мм х 5 мм, анод – 78 мм х 36 мм х 1 мм або 58 мм х 29 мм х 1мм. Електроди повністю занурювали у субстрат, у зону коріння рослин. Резистори приєднували до дротів, які виходили з електродів на поверхню, та залишали підключеними протягом експерименту. Електробіосистеми розміщували у лабораторних умовах прямо біля вікон, де вони отримували природне освітлення. Для перемішування та аерації субстрату використовували скляні палички, якими робили колові рухи у субстраті протягом 10-15 секунд.

Показання біоелектричного потенціалу ми реєстрували за допомогою цифрового мультиметра UT890C UNIT-T під час під'єднання резисторів 130 Ом і 1130 Ом. Силу струму визначали, використовуючи закон Ома. Густину ряски обчислювали шляхом прямого підрахунку кількості листків у 1 мл середовища. Наведені в роботі результати представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів і їхні стандартні похибки (x ± SE).

Предмет дослідження – коливання біоелектричного потенціалу і сили струму електробіосистем *L. minor* за різних навантажень і перемішування субстрату.

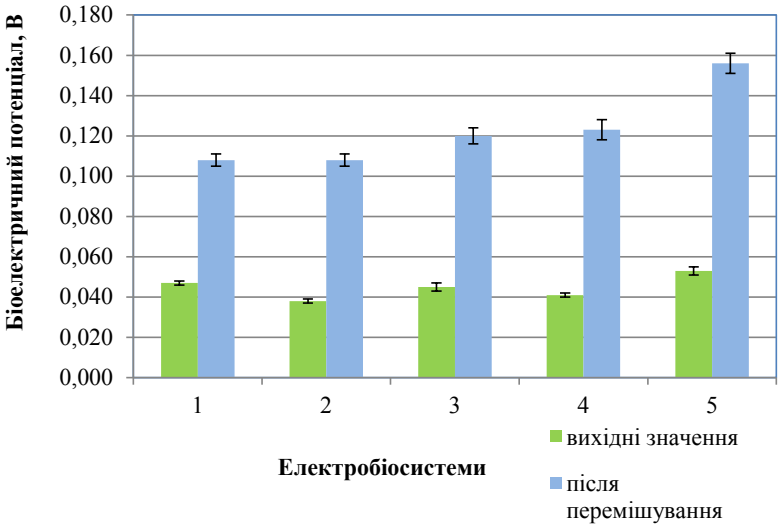

Рис. 1. Вплив перемішування субстрату на біоелектричні показники електробіосистем із L. minor у разі підключення резисторів 130 Ом (x ± SE, n=10)

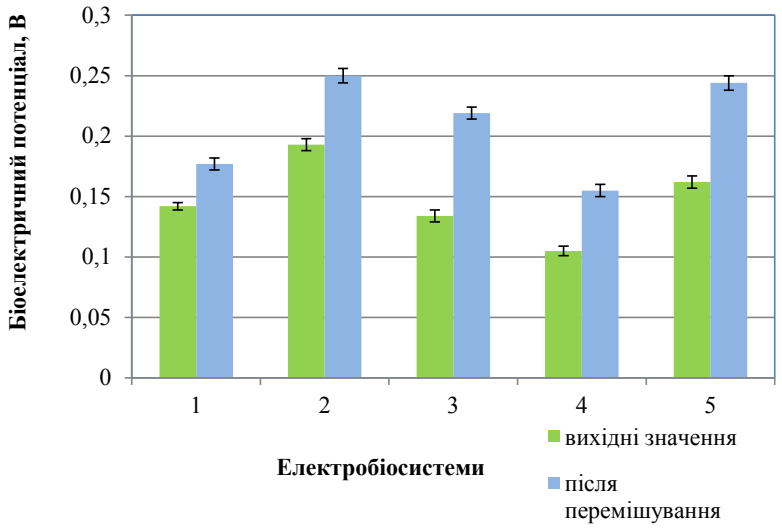

Рис. 2. Вплив перемішування субстрату на біоелектричні показники електробіосистем із L. minor у разі підключення резисторів 1130 Ом (x ± SE, n=10)

Результати дослідження та їх обговорення. Нами виявлено, що перемішування субстрату призводить до збільшення біоелектричних параметрів електробіосистем, які базуються на *L. minor.* За даними рис. 1, у разі підключення резистора 130 Ом середній біоелектричний потенціал електробіосистем становив 0,045В. Проте після перемішування субстрату значення біоелектричного потенціалу зразу зросло у 2,18-3,00 рази та становило у середньому 0,123В. Підвищені значення біоелектричного потенціалу знижувались упродовж наступних 5 хвилин, проте зберігалися на рівні, вищому від вихідних значень протягом кількох годин, і поверталися на вихідний рівень за добу.

Під час використання вищих навантажень (1130 Ом) виявлено аналогічний ефект перемішування субстрату на ріст біоелектричних показників електробіосистем, проте в дещо менш вираженому ступені: зростання біолектричного потенціалу становило від 1,25 до 1,63 разів (рис. 2). Виявлений

ефект може мати важливе значення для встановлення оптимального електропродуктивного режиму роботи електробіосистем, які базуються на гідатофітах, водних рослинах і водних субстратах. Електробіосистеми, які в якості біологічного компоненту містять водні рослини, становлять значну частку серед усіх рослинно-мікробних електробіосистем [7; 8].

Поясненням виявленого ефекту впливу перемішування субстрату на генерацію біоелектрики, очевидно, може бути як посилення трансферу електронів і протонів на електроди та більш ефективне використання утворених мікроорганізмами заряджених частинок, розташованих на відстані від електродів, локалізованих у центрі електробіосистеми, так і збільшення доступності органічних сполук донорів електронів для електрико-генеруючих мікроорганізмів. Перемішування субстрату призводить також до зниження внутрішнього опору системи та усуває надлишкові протони на анодах [2, 5].

Електробіосистеми з *L. minor* ефективніше працювали під час застосування нижчих опорів, ніж вищих. Сила струму зростала за зниження опору від 0,185 мА до 0,346 мА, тоді як напруга знижувалася від 0,209 В до 0,045 В до (рис. 3). Аналогічні тенденції показані і в роботах [9; 10].

Очевидно, під час зниження навантажень в електробіосистемах посилюється потік електронів, інтенсивніше відбувається метаболізм і рух електронів на анод, результатом чого є генерація біоелектрики [9; 10].

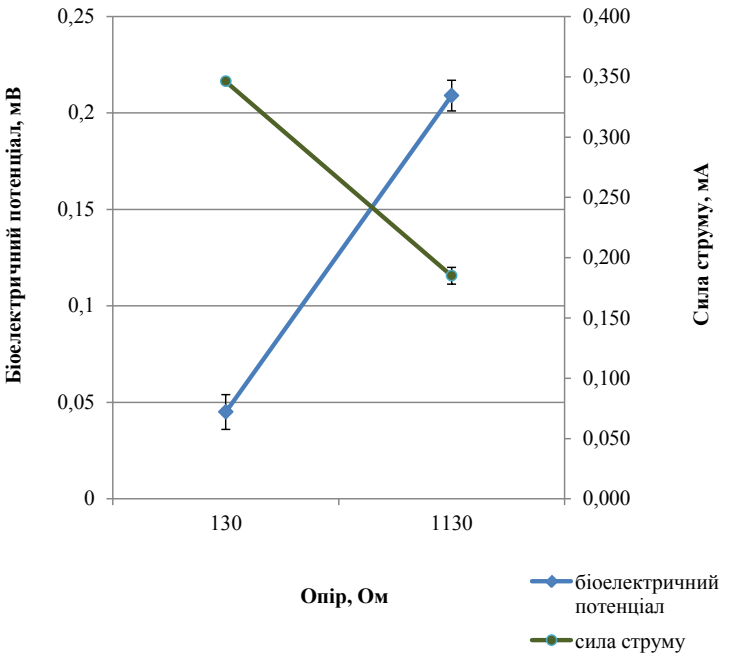

Рис. 3. Вплив зростання опору на біоелектричні параметри електробіосистеми з L. minor (x ± SE, n=10)

Головні висновки. Періодичне перемішування водного субстрату в електробіосистемах із *L. minor* призводить до зростання їх біоелектричних параметрів. Під час використання навантаження 1130 Ом відмічено зростання біоелектричного потенціалу в 1,25-1,63 разів та у 2.18-3.00 рази – за використання 130 Ом унаслідок створення потоку субстрату електробіосистеми. Виявлений ефект має перспективи як інструмент підвищення ефективності електробіосистем, які базуються на водних рослинах.

Література

1. Wang C.-T. Flow Control in Microbial Fuel Cells. Technology and Application of Microbial Fuel Cells. London: IntechOpen, 2014. doi: 10.5772/58346. Available from: https://www.intechopen.com/books/technology-and-application-of-microbial-fuel-cells/flow-control-in-microbial-fuel-cells
2. Raman K., Lan J.C.W. Performance and kinetic study of photo microbial fuel cells (PMFCs) with different electrode distances. *Applied Energy*. 2012. Vol. 100. P. 100–105. doi:10.1016/j.apenergy.2012.03.011
3. Kim J.R., Cheng S., Oh S.E., Logan B.E. Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells. *Environmental science and technology*. 2007. Vol. 41(3). P. 1004–1009. doi: 10.1021/es062202m
4. Kjeang E., Djilali N., Sinton D. Microfluidic Fuel Cells: A Review. *J. Power Sources*. 2009. Vol.186. P. 353–369. doi: 10.1016/j.jpowsour.2008.10.011
5. Arends J.B.A. Optimizing the plant microbial fuel cell: diversifying applications and product outputs. PhD thesis. 2013. Belgium: Ghent University. 149 p.
6. Русин І.Б., Медведєв О.В. Спосіб отримання біологічної електрики з глибинних шарів ґрунту: пат. 112093 Україна: МПК 2016.01, H05F 7/00, H01M 8/16; заявл. 9.03.2016; опубл. 12.12.2016. Бюл. № 23. 5 с.
7. Nitisoravut R., Regmi R. Plant microbial fuel cells: A promising biosystems engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 76. P. 81–89. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.064
8. Kabutey F.T., Zhao Q., Wei L., Ding J., Antwi P., Quashie F.K., Wang W. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 110 (C). P. 402–414. doi: 10.1016/j.rser.2019.05.016
9. Sangeetha T., Muthukumar M. Influence of electrode material and electrode distance on bioelectricity production from sago-processing wastewater using microbial fuel cell. *Environmental Progress & Sustainable Energy.* 2013. Vol. 32, № 2. P. 390–395. doi: 10.1002/ep.11603
10. Venkata Mohan S., Saravanan R., Veer Raghavulu S., Mohanakrishna G., Sarma P.N. Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched microflora: Effect of catholyte. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99. P. 596–603. doi: 10.1016/j.biortech.2006.12.026