ЗАЛЕЖНІСТЬ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОБІОСИСТЕМ ВІД ПЛОЩІ ЕЛЕКТРОДІВ

Русин І.Б., Дячок В.В.

Національний університет «Львівська Політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів
rib7@i.ua

Катастрофічні наслідки глобальної зміни клімату, відчутні в кожному куточку планети, останніми роками змушують людство шукати нові енергоефективні технології зі скорочення викидів парникових газів. До таких альтернативних біотехнологій належить генерація біоелектрики за допомогою рослинно-мікробних електробіосистем. Цей метод є екологічно безпечним, перспективним і таким, що швидко розвивається, починаючи з ХХІ століття. Електробіосистема – це комбінація технологічних елементів, зокрема електродних систем, та біологічних елементів, таких як рослини та кореневі електроактивні мікроорганізми. Електродні системи збирають біоелектричну енергію, що продукується мікроорганізмами, які мешкають на коренях рослин. Технічні параметри електробіосистем, зокрема площа електродних систем, відіграють важливу роль у діяльності рослинно-мікробних електробіосистем.

У статті представлено дослідження залежності біоелектричних параметрів електробіосистем, що базуються на рясці *Lemna minor* L. з природним водним субстратом, від площі електродних систем за різних навантажень у лабораторних умовах із метою виявлення ефективних електродних конструкцій. Дослідження електробіосистеми з *L. minor* у разі довготривалого застосування резисторів показало зростання показників біоелектрики в середньому в 2,46 разів у разі збільшення площі електродів у 2,5 разів під час використання резисторів 130 Ом та в 1,76 разів у разі навантаження 1130 Ом. Генерація струму внаслідок підключення резисторів протягом кількох діб характеризувалася підйомами та падіннями, очевидно пов'язаними з різним залежним від освітлення рівнем фотосинтезу як джерела донорів електронів для електроактивних мікроорганізмів. Виявлений ефект позитивного впливу збільшення площі електродів на вольтаж і силу струму має важливе значення для конструювання ефективних схем електробіосистем з *L. minor* та розкриває можливості збільшення отриманої біоелектрики в разі конструювання електробіосистем. **Ключові слова:** відновлювана енергія, біоелектрика, електрод, електробіосистема, рослина

Dependence of bioelectric parameters of electro-biosystems on the area of electrodes. Rusyn I., Djachok V.

The catastrophic effects of global climate change, which have become felt in every corner of the planet in recent years, are forcing humanity to look for new energy-efficient technologies with reduced greenhouse gas emissions. Such alternative biotechnologies include the generation of bioelectricity using plant-microbial electro-biosystems. This method is environmentally friendly, highly promising and rapidly developing since the beginning of the 21st century. Electro-biosystem is a combination of technological elements, such as electrode systems and biological elements, such as plants and root electro-active microorganisms. Electrode systems collect bioelectric energy produced by microorganisms that develop on the roots of plants. Technical parameters of electro-biosystems, in particular, the area of electrode systems play an important role for the operation of plant-microbial electro-biosystems. The article presents a study of the dependence of bioelectric parameters of electro-biosystems based on duckweed *Lemna minor* L. with natural aqueous substrate on the area of electrode systems at different loads in the laboratory to identify effective electrode structures. Studies of the electro-biosystem with *L. minor* with long-term use of resistors have shown an increase in bioelectricity by an average of 2.46 times with an increase in electrodes area by 2.5 times when using resistors 130 Ohms and by 1.76 times with a load of 1130 Ohms. The generation of current when resistors were connected for several days was characterized by ups and downs, apparently due to different levels of light-dependent photosynthesis as a source of donors of electrons for electro-active microorganisms. The studied effect of the positive effect of increasing the area of the electrodes on the voltage and current is important for the design of effective schemes of electro-biosystems with *L. minor* and reveals the way of increasing the obtained bioelectricity by electro-biosystems. **Key words:** renewable energy, bioelectricity, electrode, electro-biosystem, plant

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Електротехнологічні особливості електробіосистем, зокрема електродні матеріали і міжелектродна відстань [1; 2], розташування електродів [3-5], площа електродних систем [6] відіграють важливу роль для ефективної роботи рослинно-мікробних електробіосистем. Оптимізація технологічних параметрів електробіосистем, зокрема площі аноду та катоду, є важливим для підвищення їх потужності та зменшення вартості, а також може бути кроком до розширення їх використання як джерела відновлюваної енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робіт, присвячених впливу електродної площі на генерацію біоелектрики, небагато. В. Янг та інші у 2018 році представили результати дослідження ролі співвідношення площі катоду й аноду для роботи седиментаційних електробіосистем, в яких показали реверсію вольтажу в неоптимізованих за електродною площею електробіосистемах [7]. У 2020 році дослідники з Філіпін Памінтуан та інші показали, що зі зростанням кількості електродів і збільшенням їх сумарної площі зростає і генерована біоелектрика в біоелектросистемах з *Cynodon dactylon* і ґрунтом як субстра-

том [6]. Аналогічні тренди зафіксовано нами також у роботі [8]. Проте вищезазначені дослідження стосувалися більшою мірою кількості електродів, а не вивчення впливу площі окремої електродної пари.

Мета та завдання дослідження. Беручи до уваги важливість електротехнологічних параметрів електробіосистем для генерації біоелектрики та недостатній рівень їх вивчення, ми поставили перед собою завдання дослідити вплив площі електродів на біоелектричний потенціал та силу струму електробіосистем з *Letna minor* у лабораторних умовах з метою виявлення ефективних електродних конструкцій і способу максимізації отриманих значень біоелектрики.

Виклад основного матеріалу. Методи дослідження. Дослідження проводилися в лабораторних умовах. Для конструювання електробіосистем використовували пластикові контейнери діаметром 120 мм і висотою 120 мм, в які поміщали рослину *L. minor* L., взятую із забруднених каналів околиць м. Львова в кількості 60 листків/мл, та забруднену воду каналів із додаванням свіжої води як середовища для її розвитку. В якості електродних систем використовувалися моно-макросистеми з парою електродів [9] таких розмірів: катоду – 87 мм х 28 мм х 14 мм, аноду – 78 мм х 36 мм х 1 мм+ а також моно-мінісистеми з розмірами катоду 55 мм х 14 мм х 5 мм та аноду 58 мм х 29 мм х 1мм. Електроди повністю занурювали в субстрат. Резистори приєднували до дротів, які виходили з електродів, та залишали їх підключеними протягом 7 днів. Електробіосистеми отримували природне освітлення і були розміщені прямо біля вікон.

Показники біоелектричного потенціалу реєстрували за допомогою цифрового мультиметра UT890C UNIT-T. Біоелектричний потенціал і силу струму

фіксували з приєднаними резисторами 130 Ом і 1130 Ом. Силу струму визначали як теоретично, використовуючи залежність закону Ома, так і за допомогою амперметра. Сумарну електродну площу визначали додаванням площі катода до площі анода. Густина ряски обчислювали шляхом прямого підрахунку кількості листків в одному мілілітрі середовища. Наведені в роботі результати представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів та їхні стандартні похибки ($\bar{x} \pm SE$).

Предмет дослідження – коливання біоелектричного потенціалу та сили струму рослинно-мікробних асоціацій *L. minor* електробіосистем.

Результати дослідження та їх обговорення. Електробіосистеми з *L. minor* із збільшеною електродною площею демонстрували вищі показники середньої сили струму та біоелектричного потенціалу, ніж електробіосистеми з двома електродами меншої площі, як під час вищого, так і за нижчого навантаження.

За даними рис. 1, середня сила струму в електробіосистемах із електродною площею 0,006 м² становила 0,129 мА проти 0,317 мА в електробіосистемах із електродною площею 0,015 м² у разі підключення резисторів 130 Ом.

За більшого опору ефект збільшення площі електродів на ріст біоелектричних показників виявлявся меншою мірою (рис. 2). Зокрема, збільшення електродної площі в 2,5 рази за підключення резисторів 1130 Ом призвело до зростання середнього біоелектричного потенціалу у 1,76 разів порівняно зі зростанням сили струму в 2,46 разів під час використання навантаження нижче 1 000 Ом. Очевидно, що за вищого навантаження в електробіосистемах слабшає потік електронів порівняно

Рис. 1. Вплив збільшення електродної площі на показники середньої сили струму електробіосистеми з *L. minor* у разі підключення резисторів 130 Ом протягом 7 діб ($\bar{x} \pm SE$, $n = 10$)

Рис. 2. Вплив збільшення електродної площі на показники середнього біоелектричного потенціалу електробіосистеми з *L. minor* за підключення резисторів 1130 Ом протягом 7 діб ($\bar{x} \pm SE$, $n = 10$)

Рис. 3. Коливання біоелектричних параметрів електробіосистеми з *L. minor* у разі підключення резисторів 130 Ом протягом 7 діб ($\bar{x} \pm SE, n = 10$)

з нижчим навантаженням і менш інтенсивно відбувається метаболізм, за яким мікроорганізми віддають електрони на анод, результатом чого є генерація біоелектрики [2].

Генерація струму електробіосистемами з *L. minor* характеризувалася підйомами та падіннями. Протягом 7 днів реєстрована сила струму коливалася від 0,285 мА до 0,431 мА в електробіосистемах із площею електродів 0,015 м² за підключення резисторів 130 Ом (рис. 3).

Оскільки продукування біоелектрики залежить від постачання їх субстратами від рослин, які є донорами електронів для електроактивних мікроорганізмів [10], очевидно, що динамічні коливання сили струму зумовлені різною інтенсивністю фотосинтезу та відповідним рівнем кореневої екскреції речовин, котрі змінюються залежно від інтенсивності природного освітлення.

Головні висновки. Збільшення площі електродів є способом максимізації отриманої біоелектрики в електробіосистемах із *L. minor* у їх природному субстраті. За нижчих навантажень електробіосистеми працюють більш ефективно. Під час використання резисторів 130 Ом збільшення площі електродів у 2,5 рази призводило до зростання біоелектричних параметрів у 2,46 разів, а за навантаження 1130 Ом – у 1,76 разів.

Література

- Kalathil S., Patil S.A., Pant D. Microbial Fuel Cells: Electrode materials/ K. Wandelt, P. Vadgama. Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface science and Electrochemistry. Amsterdam: Elsevier, 2017. 5560 p. doi: 10.1016/B978-0-12-409547-2.13459-6.
- 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.
- Helder M., Strik D.P.B.T.B., Hamelers H.V.M., Buisman C.J.N. The flat-plate plant microbial fuel cell: The effect of a new design on internal resistances. *Biotechnology for Biofuels*. 2012. Vol. 5, № 70. doi: 10.1186/1754-6834-5-70.
- Timmers R.A., Strik D.P., Hamelers H.V., Buisman C.J. Electricity generation by a novel design tubular plant microbial fuel cell. *Biomass & Bioenergy*. 2013. Vol. 51. P. 60-67. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.01.002.
- Wetser K., Dieleman K., Buisman C., Strik D.P.B.T.B. Electricity from wetlands: Tubular plant microbial fuels with silicone gas-diffusion biocathodes. *Applied Energy*. 2017. Vol. 185. P. 642-649. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.10.122.
- Pamintuan K.R.S., Reyes C.S.A., Lat D.K.O. Compartmentalization and polarization studies of a Plant-Microbial Fuel Cell assembly with *Cynodon dactylon*. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 181, № 01007. doi: 10.1051/e3sconf/202018101007.
- Yang Y., Yan L., Song J., Xu M. Optimizing the electrode surface area of sediment microbial fuel cells. *RSC Adv*. 2018. Vol. 8, № 25319. doi: 10.1039/c8ra05069d.
- Rusyn I.B., Medvediev O.V., Valko B.T. Enhancement of bioelectric parameters of multi-electrode plant-microbial fuel cells by combining of serial and parallel connection. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 18, № 6. P. 1323-1334. doi: 10.1007/s13762-020-02934-3.
- 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.
- Strik D.P.B.T.B., Hamelers H.V.M., Snel J.F.H., Buisman C.J. Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research*. 2008. Vol. 32, № 9. P. 870-876. doi: 10.1002/er.1397.