

ВИВЧЕННЯ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ВОДНИХ ЕКСТРАКТІВ РОСЛИН

Дячок В.В. д. т. н. професор

Національний університет «Львівська Політехніка», м. Львів

Анотація. На сьогоднішній день в Україні має місце суттєве недопостачання енергетичних ресурсів (зокрема електроенергії) на фоні різкого загострення екологічних проблем. Ця тенденція є актуальною і в глобальному масштабі, оскільки використання викопного палива, як основного джерела енергії, є причиною природних катаклізмів. Такий стан справ зумовлює необхідність широкого застосування так званих відновлювальних джерел енергії. Це стосується енергії сонця, вітру, геотермальної і таке інше. Розвиток відновлюваної енергетики нерозривно пов'язаний з розвитком біотехнологій, зокрема біоелектрики. Розробка цього напрямку в біотехнології передбачає вирішення актуальних завдань сьогодення, зокрема розроблення екологічно безпечних технологій генерації електричної енергії. Розвиток подій за таким сценарієм передбачає зменшення викидів парникових газів та інших забруднювачів у навколишнє середовище, гарантію енергетичної безпеки, а також розроблення підґрунтя для створення мережі стаціонарних джерел біоелектрики, як частини інфраструктури для автомобілів на паливно-коміркових елементах.

Електрична енергія відіграє важливу роль і у нашому повсякденному побутовому житті, а її споживання постійно зростає. Оскільки традиційне її виробництво на основі викопного палива має величезні економічні та екологічні проблеми, то подолання їх можливе за рахунок впровадження біотехнологій. Потреба в біоенергії стає невідомою для заміни викопного палива. Власне природний фотосинтез пропонує засоби і методи для цього і передусім через застосування рослин. Наземні рослини подекуди вже використовувалися як джерело біоенергії, і це використання буде тільки зростати в майбутньому, незважаючи на можливі супутні проблеми.

Дане дослідження стосується нової технології виробництва електроенергії, а саме, біотехнології, тобто використанням водних екстрактів різних рослинних ресурсів. Деякі рослини в природі мають властивості накопичувати в клітинах біологічно активні сполуки здатні до створення електролітичного середовища, власне вони придатні для виробництва електроенергії, які можна посилювати.

Keywords: біоелектрика, рослинна сировина, сукуленти, екстракт, акумуляторна батарея на біомасі.

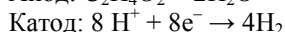
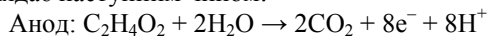
Постановка проблеми. Електроенергія є основною потребою в усіх секторах життєдіяльності людства і включає промисловість, транспорт, сільське та побутове господарство. Без енергії неможливий розвиток науки та технологій. Левова частка електроенергії надходить з невідновлюваних джерел, включаючи спалювання вугілля, нафти та природного газу. Ці джерела з одного боку вичерпуються з високою швидкістю, з іншого є потужним джерелом забруднення навколишнього середовища із яких парникові гази є найбільш небезпечними. Викопне паливо є потужним чинником глобального потепління та забруднення атмосфери через збільшення парникових газів, летких і твердих речовин в атмосфері [1].

З метою запобігання цих недоліків, у всьому світі розвиваються екологічно чисті технології, які використовують відновлювані джерела енергії. Прикладом таких є сонячна енергія, енергія вітру, біопаливо тощо. Останнім часом все більше спостерігаються випадки залучення біотехнологій для одержання біоелектрики [2,3]. Біоелектричні елементи використовуються для зарядки мобільних акумуляторів, настінних годинників, гаджетів тощо. Перспективним напрямком на сьогоднішній день для одержання енергії є застосування біомаси. Проведені дослідження з використанням різних видів рослинних екстрактів засвідчують перспективність цього напрямку в техніці та біотехнологіях, оскільки є потенційним джерелом енергії для порівняно дешевого виробництва біоелектрики [4,5]. Виробництво біоелектрики з водних екстрактів певних видів та морфологічних органів рослинної сировини, як моделі гальванічних елементів з використанням гальванічних електродів (цинкових, мідних, вуглецевих та інших) зменшило б використання невідновлюваних ресурсів, зокрема викопного палива. Це в свою чергу призвело б до зменшення загрози глобального потепління [6,7].

Різні морфологічні органи рослини, такі як листя, корені, квіти, плоди тощо є природною біоелектричною системою, яка містить йони органічного та неорганічного походження. Контрольований і регульований йонний рух у рослинах робить специфічну біосистему, яка відрізняється від звичайної фізичної чи електролітичної системи. Таким чином, певні морфологічні органи рослини можна назвати «біоелектролітичними системами» або «біоенергопровідними системами». Власне йонна провідність є основним чинником виникнення біоелектрики. Специфічна електролітична система, виявлена в живих рослинах, має велике значення, як джерело енергії малої потужності [7,8]. Тому використання рослинної сировини як нового нетрадиційного матеріалу для розробки джерел біоенергії є актуальним завданням.

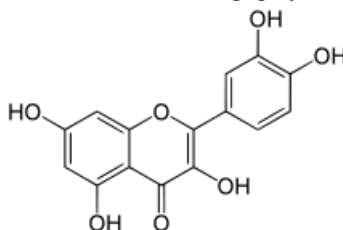
Мета роботи полягає у вивченні біоелектричних потенціалів водних екстрактів деяких рослин (сукулентів).

Теоретична частина. Найважливіша відмінність між біоелектричними струмами в живих організмах і типом електричного струму, який використовується для виробництва світла, тепла чи енергії, полягає в тому, що біоелектричний струм - це потік йонів, органічного та неорганічного походження, що несуть електричний заряд, тоді як стандартна електрика - це рух електронів. Біоелектрику можна генерувати, коли два електроди з різним потенціалом занурюють у біомасу створюючи тим самим умови для руху йонів. Йони, як правило, течуть від нижчого потенціалу до вищого потенціалу, тобто від катода до анода. Основна біохімічна реакція, яка описує процес виробництва біоелектрики, за участі органічних речовин (оцтової кислоти) виглядає наступним чином:



Різні морфологічні органи рослини, такі як листя, корені, квіти, плоди тощо є природною біоелектричною системою, яка містить йони органічного та неорганічного походження. Контрольований і регульований йонний рух у рослинах робить специфічну біосистему, яка відрізняється від звичайної фізичної чи електролітичної системи. Таким чином, певні морфологічні органи рослини можна назвати «біоелектролітичними системи» або «біоенергопровідними системи» [2,7,8]. Власне йонна провідність є основним чинником виникнення біоелектрики. Специфічна електролітична система, виявлена в живих рослинах, має велике значення, як джерело енергії малої потужності. Тому використання рослинної сировини як нового нетрадиційного матеріалу для розробки джерел біоенергії є актуальним завданням.

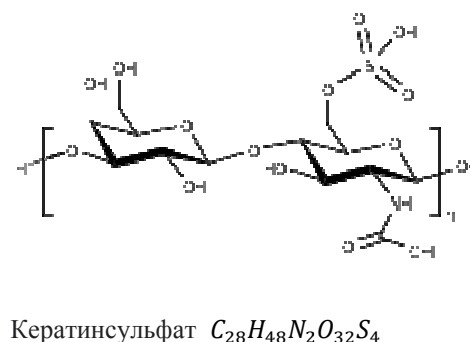
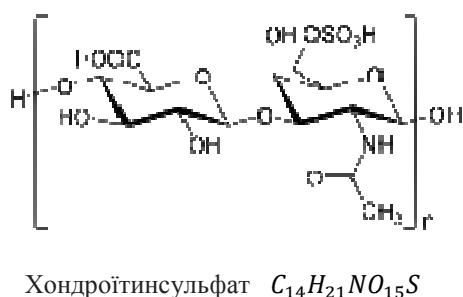
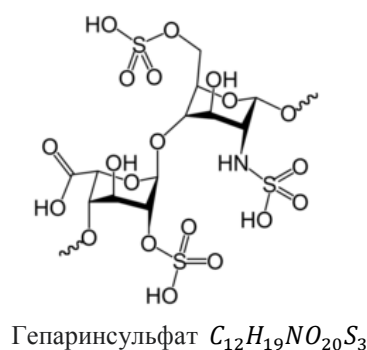
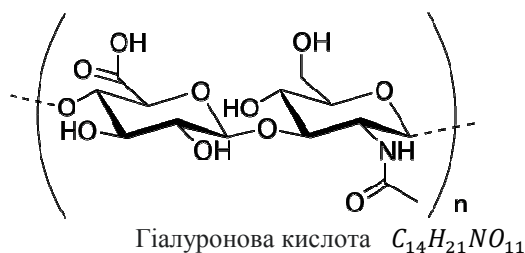
Опис рослини. Всі рослини, що використовувались у дослідженні відносять до лікарських рослин та належать до сукулентів. Сукуленти - це рослини, в яких сформовано особливі тканини призначені для накопичення вологи. Анатомічна будова цих рослин має характерні особливості, зокрема епідерміс потовщений та вкритий товстою плівкою воску. Площа листя, стебла організовані таким чином, щоби мінімально випаровувати вологу. В той час сукуленти можуть поглинати та запасати вологу та інші гетероатоми необхідні для формування тканин із повітря. Для цього у них сильно розвинута структура ворсинок. Особливістю метаболізму цих рослин є те, що вони тривалий час можуть перебувати в посушливих умовах завдяки раціональному використанню вологи накопиченої за вологий період. Спільними рисами цих рослин є і те, що в листях містяться флавоноїди. Флавоноїди - фізіологічно активні сполуки, які представляють собою конденсовані ароматичні цикли, і можуть бути представлені загальною формулою:



Флавоноїди накопичуються майже у всіх рослинах в тому числі і в хлорофілмісних мікроводоростях, зустрічаються також і в деяких видах мікроорганізмів. Локалізуються в основному у всіх морфологічних органах - листі, квітах, стеблі та коренях з кореневищами. Кількісний вміст їх може знаходитись від 0,1 до 20 %. Максимального значення досягається в залежності від фази вегетації. Зазвичай під час цвітіння рослини досягається пік накопичення, в подальшому їх кількість зменшується [9].

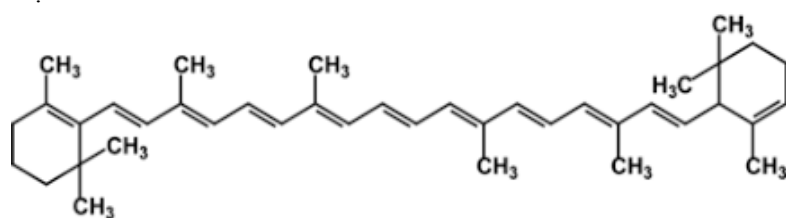
Красула яйцеподібна (*Crassula portulaca*), в народі її називають грошове або нефритове дерево. Походження ця рослина має з південної Африки. Також першопочаткове розповсюдження її знаходилось в Мозамбіку. В Європейській частині материка рослина позиціонується здебільшого як кімнатна. Як і більшість сукулентів це вічно зелена рослина з масивними гілками та листям в переважній більшості заокругленої форми. За певних обставин зелений колір може змінюватись на жовтуватий аж до оранжевого. Причиною зміни кольору є інтенсивність світлового опромінення. За умов інтенсивного ультрафіолетового опромінення в листі накопичується велика кількість флавоноїдів, які з одного боку захищають рослину від палючого сонця, а з іншого флавоноїди є причиною утворення великої кількості вільних радикалів, тим самим покращують біоелектричний потенціал водних екстрактів рослини. Квітне красула як правило у прохолодний період року, відносно темний та сухий. В цей період також спостерігається значне накопичення флавоноїдів.

Красула також накопичує миш'як та дев'ятнадцять інших хімічних елементів. Споміж них найбільше калію (K^+) до 25,80 мг/г, силіцію (Si^{+4}) 11,20 мг/г, кальцію (Ca^{+2}) - 10,0 мг/г. В листі, як і всіх представників сукулентів міститься велика кількість вологи, клітковини та слизу представленого мукополіцукрами. Окрім того присутні наступні органічні сполуки:

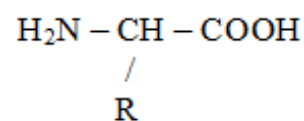


Наявність великої кількості мінеральних солей та функціональних груп в органічних сполуках є причиною утворення йонів [9].

Алоє (Aloe) – батьківщина цієї рослини Африка. На сьогоднішній день алоє розповсюджене у всіх регіонах планети. Рослина не вибаглива та пристосовується у будь-якому кліматичному поясі. Зараз нараховується сотні різновидів алоє в тому числі і генетично модифікованих. За хімічним складом є досить різноманітна. Багата макро та мікроелементами. Це і пояснює її цілющі властивості в медицині і корисні в техніці та технологіях продукування біоелектрики. Серед макроелементів у складі листя алоє найбільше міститься кальцію (Ca^{+2}) - 79,1 мг/г, – барію (Ba^{+2}) 14,90 мкг/г, селену (Se^{+2}) -11,90 мкг/г та стронцію (Sr^{+2}) 17,64 мкг/г. Особливу увагу привертає значний вміст літію (Li^{+}) -162,00 мкг/г та бору (B^{+3}) 94,00 мкг/г. Крім мінеральних речовин алоє включає і органічні сполуки, а саме амінокислоти, каротиноїди, аскорбінову кислоту, вітамінами групи В, багата вітаміном Е тощо [9].



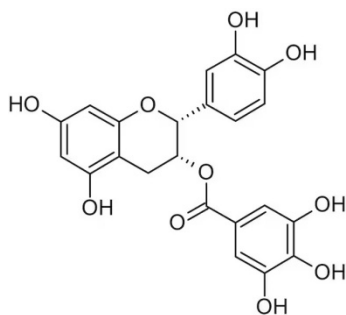
каротиноїди



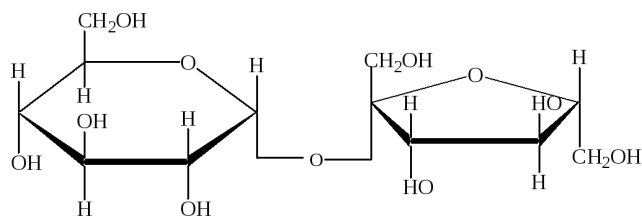
амінокислоти

Каланхоє перисте (Kalanchoe pinnata) – це типовий представник сукулентів. Відповідно, як і більшість сукулентів це вічно зелена багаторічна трав'яниста рослина. Батьківщиною каланхоє є тропіки а також тропічні райони суходолу. В Європейській частині як правило його вирощують у кімнатних умовах. За останній час з'явилися повідомлення про можливість культивування його у напівпромислових умовах (фермах). За таких умов рослина може квітнути протягом тривалого проміжку часу. Зазвичай в період цвітіння накопичується найбільша кількість флавоноїдів, що має немаловажне значення в продуванні біоелектрики.

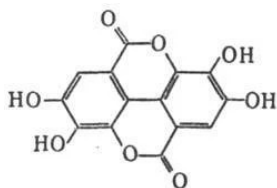
Що стосується хімічного складу рослини то тут слід звернути увагу на значний вміст органічних кислот та інших супутніх органічних сполук таких як катехіни, поліцукри, таніни, дубильні речовини тощо. Серед органічних кислот – щавелеву, оцтову, яблучну, аскорбінову та інші. Каланхоє має багатий мінеральний склад, зокрема містить мікро- та макроелементи такі як залізо (Fe^{+2}), магній (Mg^{+2}), алюміній (Al^{+3}), мідь (Cu^{+2}), кальцій (Ca^{+2}), манган (Mn^{+3}), кремній (Si^{+4}) та інші [9].



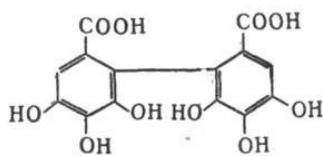
Катехін



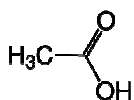
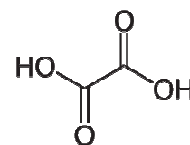
Поліцукри



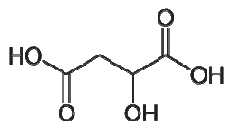
Таніни



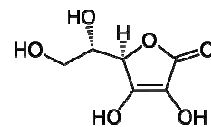
Щавлева кислота



Оцтова кислота

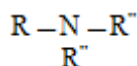


Яблунева кислота

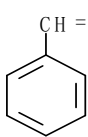


Аскорбінова кислота

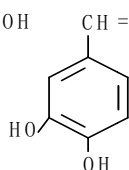
Валеріана (*Valeriana L.*) – відносять до роду багаторічних рослин. На Європейській території нараховується понад тридцять різновидів рослин. Місцем локалізації фізіологічно активних речовин у рослині є корені з кореневищами – *Rhizomata cum radicibus Valerianae*. Валер'яна багата як органічними сполуками так і мінеральними солями. В першу чергу слід зазначити велику кількість у коренях та кореневищах ефірних олій – 0,2-3,5%. Валопотріати містяться у живій рослині. При сушінні та зберіганні рослинної сировини валопотріати розкладаються до простіших органічних сполук. Серед інших органічних сполук у коренях з кореневищами присутні похідні фенолкарбонових кислот та алкалоїди. Алкалоїди за хімічною будовою представляють собою похідні аміаку в якому гідрогени заміщені органічними радикалами:



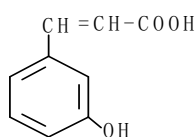
Основні органічні сполуки приведено нижче:



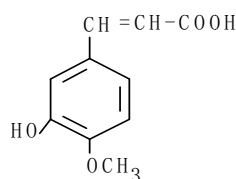
корична кислота



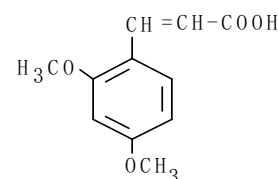
кофейна кислота



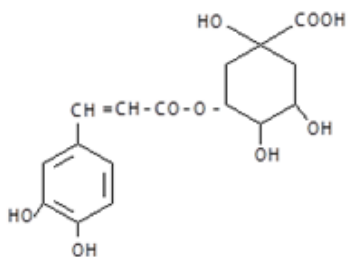
кумарова кислота



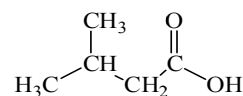
ферулова кислота



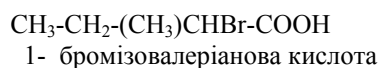
синапова кислота



хлорогенова кислота



ізовалеріанова кислота



Крім органічних сполук присутні такі основні катіони металів: K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cr^{+3} , Al^{+3} , Ba^{+2} , V^{+3} , Se^{+2} , Ni^{+} , Sr^{+2} , I^- , Br^- , B^{+3} [9].

Приготування водного екстракту. Свіже листя після промивання дистильованою водою розкладали на фільтрувальний папір, щоб видалити краплі води. Потім листя подрібнювали за допомогою лабораторної траворізки і товкачика на дрібні фрагменти і зважували. Екстракцію проводили в скляній ємності де моделювали роботу апарату з турбінною мішалкою. Екстракти фільтрували за допомогою фільтрувального паперу і об'єми доводили до кінцевої величини, шляхом промивання осаду дистильованою водою. Співвідношення фаз т.т. – р. становило 1-5.

Динаміку накопичення органічних кислот в екстракті досліджувальної рослинної сировини вивчали в скляній ємності в якій моделювали роботу апарату з турбінною мішалкою. Кількісний вміст органічних кислот в екстракті визначали кондуктометричним методом за методикою [10].

Вимірювання провідності. Екстракти кожного зразку піддавали вимірюванню провідності (рис. 1) за допомогою вимірювальної комірки. Відбирали встановлений об'єм екстракту, приблизно 40 мл і визначали провідність, занурюючи електроди в екстракти.

Вимірювання напруги та струму. Екстракт кожного зразка піддавали вимірюванню напруги та сили струму за допомогою мультиметра, як показано на рисунку 1. Підключені до мультиметра електроди занурювали у розчин екстракту. Зчитування значень мультиметра проводили кожні п'ять хвилин. Отримували залежність напруги від часу.

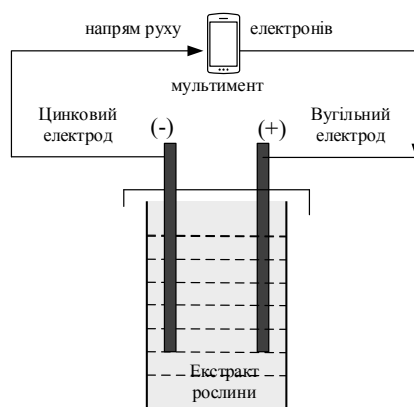


Рис. 1 – Вимірювання провідності рослинних екстрактів

Біоелектричний елемент включав два види електродів, цинковий та вугільний встановлені у скляній ємності – комірці. Об'єм комірки становив 50 мл. Такі три гальванічні елементи були окремо з'єднані в послідовний і паралельний ланцюг для подальшого дослідження. Окремі набори були підготовлені для різних трьох типів рослинних екстрактів рисунок 2 і рисунок 3. Потужність розраховували як добуток сили струму і напруги $P=VI$.

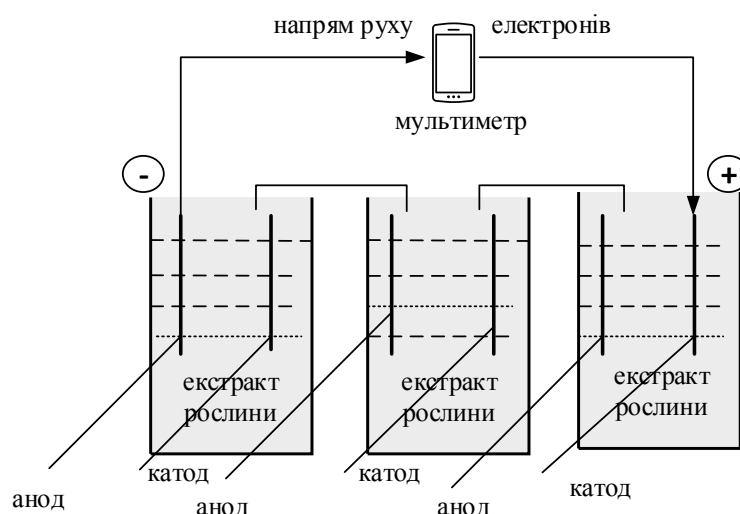


Рис. 2 – Принципова схема гальванічних елементів, з'єднаних послідовно для вимірювання напруги та струму рослинних екстрактів

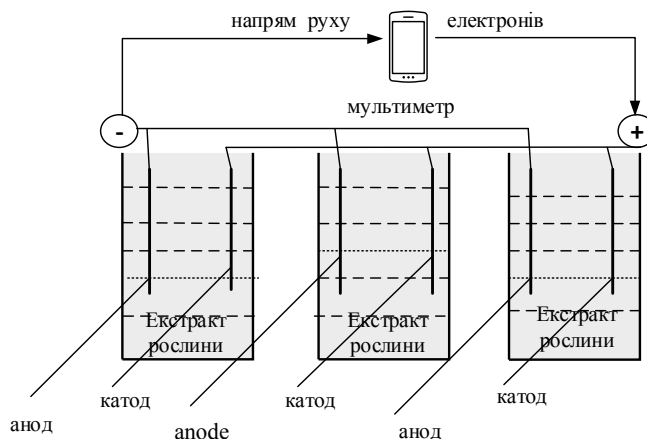


Рис. 3 – Принципова схема гальванічних елементів, з'єднаних паралельно для вимірювання напруги та струму рослинних екстрактів

Експериментальна частина. Біоенергія як чисте та стійке паливо одержане за використання відновлюваних джерел енергії, таких як біомаса, набуває широкого розвитку [11]. Розроблення концепції застосування водних екстрактів деяких видів рослинної сировини із соковитим листям, генерувати електроенергію є важливим завданням. Оскільки внаслідок традиційного використання акумуляторної батареї в техніці чи побуті найбільш поширені електроліти спричиняють загрозу навколишньому середовищу. В той же час водні екстракти певних видів рослин можна використовувати як електроліти, оскільки всі рослинні матеріали містять різні типи неорганічних і органічних електролітичних сполук, які легко поглинаються кореневою системою традиційних рослин та метаболізують без шкоди навколишньому середовищу. У цьому дослідженні водні екстракти Красули яйцеподібної (*Crassula portulacea*), Алое (*Aloe*), Каланхоє перистого (*Kalanchoe pinnata*), Валер'яна (*Valeriana*) корені з кореневищами використовувалися для дослідження властивостей електричного потенціалу, зокрема провідності, сили струму і напруги. Було помічено, що найбільшу провідність порівняно з іншими екстрактами має водний екстракт коренів з кореневищами Валер'яни (*Valeriana*). Як показано в таблиці 1, *Valeriana* має провідність (3.98 мСм/см) тоді листя *Aloe* (3.9 мСм/см). *Kalanchoe pinnata* має меншу провідність (2.65 мСм/см) порівняно з *Aloe* і *Crassula portulacea* (2.84 мСм/см). Це пояснюється хімічним складом рослинної сировини, зокрема значною кількістю мінеральних солей та органічних сполук. *Valeriana* зареєструвала вищу напругу порівняно з іншими трьома рослинами, як показано в таблиці 1. Екстракти *Crassula portulacea* продемонстрували найменший потенціал напруги.

Таблиця 1

Отримані біоелектричні параметри досліджуваних екстрактів

Назва сировини	К-ть. комірок	σ мСм/см провідність	Послідовне з'єднання			Паралельне з'єднання		
			U (В) напруга	I (мА) струм	P (мВт) потужність	U (В) напруга	I (мА) струм	P (мВт) потужність
Алое (<i>Aloe</i>)	1	3.9	0.91	1.25	1.14	0.91	1.26	1.14
	2		1.79	1.23	2.26	0.90	2.48	2.23
	3		2.73	1.26	3.43	0.92	3.63	3.33
Каланхоє (<i>Kalanchoe pinnata</i>)	1	2.65	0.88	1.82	1.60	0.88	1.82	1.60
	2		1.63	1.83	2.98	0.87	2.93	2.54
	3		2.25	1.81	4.07	0.89	4.98	4.43
Красула (<i>Crassula portulacea</i>)	1	2.84	0.81	0.80	0.64	0.81	0.81	0.65
	2		1.51	0.83	1.25	0.80	1.52	1.21
	3		2.39	0.79	1.88	0.82	2.27	1.86
Валер'яна (<i>Valeriana</i>)	1	3.98	0.92	1.31	1.21	0.93	1.32	1.22
	2		1.81	1.30	2.35	0.92	2.58	2.38
	3		2.94	1.29	3.79	0.92	3.76	3.46

Окрім цього, результати дослідження показали, що напруга ланцюга послідовно з'єднаних комірок збільшувалася зі збільшенням кількості гальванічних чи паливних елементів. Відповідно збільшуються і значення вихідної потужності, а сила струму ланцюга залишається практично постійною.

За паралельного з'єднання елементів ланцюга напруга залишається постійною майже на значенні, отриманому в одній комірці, однак струм зростає зі збільшенням числа гальванічних чи паливних елементів на відміну від послідовної схеми, де напруга збільшується зі збільшенням числа гальванічних чи паливних

елементів, а струм в ланцюзі залишається майже постійним (табл. 1). Крім того, порівняння вихідної потужності показало, що екстракт *Valeriana* показав найвищі значення вихідної потужності серед інших досліджуваних екстрактів, за паралельного з'єднання комірок ланцюга, за ним ідуть алое тоді красула відповідно.

Результати спостереження за досягненням максимального значення зміни біопотенціалу в умовах відкритого контуру з часом наведено в рисунку 4. З рисунку видно, що максимальне значення біопотенціалу досягається за 16 хвилин в однокімровій моделі, для двокімрової цей час становить шість хвилин, в той час як в трьохкомірковій досягається за чотири хвилини за умови послідовного з'єднання комірок.

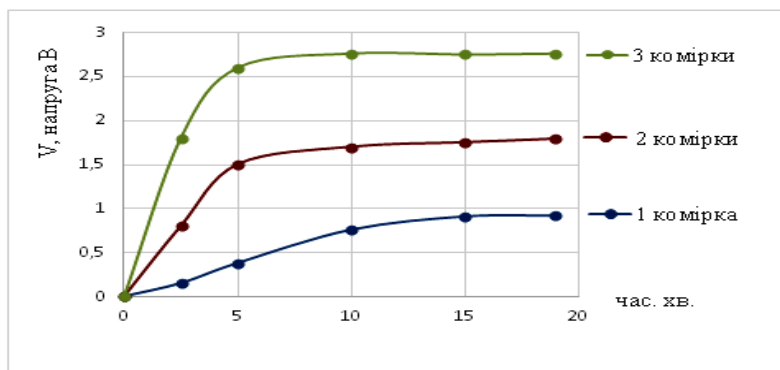


Рис. 4 – Зміна напруги від часу в одно, дво та трьох коміровій моделі водного екстракту листя алое (*Aloe*)

Важливо зауважити, що такі біобатареї не піддаються підзарядці. Ці пристрої разового використання.

Висновок. Недоліки невідновлюваних чи звичайних джерел енергії, таких як викопне паливо, є вичерпним і створює серйозну загрозу глобальному потеплінню та забрудненню навколишнього середовища.

Проведенні дослідження різних рослинних екстрактів щодо виробництва біоелектроенергії так встановлені основні параметри, такі як провідність, напруга, сила струму та розрахована потужність досліджуваних біосистем.

Показано, що рослинний екстракт має помітний потенціал для генерування електроенергії завдяки наявності мінеральних солей та біомолекул таких як ліпіди, білки, вуглеводи, поліфенольні сполуки, а їх метаболіти спричиняють електролітичні властивості водних розчинів які можуть слугувати в ролі природних електролітів.

Подальші дослідження в цьому напрямку дозволять знайти ефективні способи відновлюваного та екологічно чистого виробництва біоелектрики.

References

1. Hlobalne poteplinnia. Yak Zemlia zminiue svoje oblychchia. Spetsproekt TSN.ua. <https://tsn.ua/special-projects/warming/>. – vid 25 bereznia 2017.
2. Datta P. (2003). A Vegetative Voltaic Cell. *Current Science*, 85(3), 244 – 245.
3. Rusyn, I. B., Medvediev, O. V. (2016) Sposib otrymannia biolohichnoi elektryky z hlybynnykh shariv gruntu Patent UA 112093.
4. Eshel, A., Beeckman T. (2013). *Plant Roots: The Hidden Half*. Boca Raton: CRC Press.
5. Rusyn, I. B., Hamkalo, Kh. R. (2019). Bioelectricity production in an indoor plant-microbial biotechnological System with *Alisma plantago-aquatica*. *Acta Biologica Szegediensis*, 62(2), 170–179. <https://doi.org/10.14232/abs.2018.2.170-179>.
6. Sudhakar K, Anathakrishnan R and Goyal A. (2015). Comparative Analysis on Bioelectricity Production from Water Hyacinth, cow Dung and Their Mixture Using a Multi-Chambered Biomass Battery. *International Journal of Agriculture Innovation and Research*, 1(4), 102-106.
7. B. K. Pandey, V. Mishra, and S. Agrawal, (2011). Production of bio-electricity during waste water treatment using a single chamber microbial fuel cell,” *Inter. J. Engg., Sci. & Tech.*, 3(4), 42 - 47.
8. Carvalho, J., Ribeiro, A., Castro, J., Vilarinho, C. and Castro, F. (2015). Biodiesel production by microalgae and macroalgae from north littoral Portuguese coast, *WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities: 1st International Conference*, 1-6.
9. Chernykh V.P., Avrvmenko N.M. (2016). *Farmatsevtichna entsyklopediia*. Morion.
10. Diachok I.L., Piniashko O.R. (2016). Rozroblennia metodu kilkisnogo vyznachennia orhanichnykh kyslot v Kompleksnomu fitopoliekstrakti. *Aktualni pytannia farmatsevtichnoi i medychnoi nauky ta praktyky*, 2, 52-57.
11. Carlos A. Martínez-Huitle, Manuel A. Rodrigo, Ignasi Sirés, Onofrio Scialdone. (2023). A critical review on latest innovations and future challenges of electrochemical technology for the abatement of organics in water *Applied Catalysis B: Environment and Energy*, 328 (13-14):122430

THE STUDY OF BIOELECTRIC POTENTIALS OF AQUEOUS EXTRACTS FROM PLANTS

Vasil Dyachok, Doctor of Engineering Science, Professor
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Abstract. To date, there is a significant undersupply of energy resources (in particular, electricity) in Ukraine against the background of a sharp exacerbation of environmental problems. This trend is also relevant on a global scale, since the use of fossil fuels as the main source of energy is the cause of natural disasters. This state of affairs necessitates the widespread use of so-called renewable energy sources. This applies to energy from the sun, wind, geothermal, and so on. The development of renewable energy is inextricably linked with the development of biotechnologies, particularly bioelectricity. The development of this direction in biotechnology involves the solution of today's urgent problems, in particular, the development of environmentally safe technologies for the generation of electrical energy. The development of events under such a scenario involves the reduction of emissions of greenhouse gases and other pollutants into the environment, the guarantee of energy security, as well as the development of the basis for the creation of a network of stationary sources of bioelectricity, as part of the infrastructure for cars on fuel cells

Electric energy plays an important role in our everyday life, and its consumption is constantly increasing. Since its traditional production based on fossil fuels has huge economic and environmental problems, overcoming them is possible at the expense of introduced biotechnologies. The need for bioenergy becomes inevitable to replace fossil fuels. Actually, natural photosynthesis offers means and methods for this, primarily through the use of plants. Land plants have already been used as a source of bioenergy in some places, and this use will only increase in the future, despite the possible attendant problems.

This study concerns a new technology of electricity production, namely, biotechnology, that is, the use of aqueous extracts of various plant resources. Some plants in nature have the ability to accumulate in their cells biologically active compounds capable of creating an electrolytic environment, in fact they are suitable for the production of electricity, which can be amplified.

Keywords: bioelectricity, vegetable raw materials, succulents, extract, biomass battery

Список використаної літератури

1. Глобальне потепління. Як Земля змінює своє обличчя. Спецпроект ТСН.ua. <https://tsn.ua/special-projects/warming/>. – від 25 березня 2017.
2. Datta P. (2003). A Vegetative Voltaic Cell. Current Science. 85(3), 244 – 245.
3. Русин, І. Б., Медведєв, О. В. Спосіб отримання біологічної електрики з глибинних шарів ґрунту / О.В. Патент України 112093, Опубл. 12 грудня 2016 р.
4. Eshel, A., Beeckman, T. (2013). Plant Roots: The Hidden Half. Boca Raton: CRC Press.
5. Rusyn, I. B., Hamkalo, Kh. R. (2019). Bioelectricity production in an indoor plant-microbial biotechnological system with *Alisma plantago-aquatica*. Acta Biologica Szegediensis, 62(2), 170–179. <https://doi.org/10.14232/abs.2018.2.170-179>.
6. Sudhakar K, Anathakrishnan R and Goyal A. (2013). Comparative Analysis on Bioelectricity Production from Water Hyacinth, cow Dung and Their Mixture Using a Multi-Chambered Biomass Battery. International Journal of Agriculture Innovation and Research ISSN (online). 1(4), 102-106.
7. B. K. Pandey, V. Mishra, and S. Agrawal, Production of bio-electricity during waste water treatment using a single chamber microbial fuel cell // Inter. J. Engg., Sci. & Tech., vol. 3, issue 4, 2011, pp. 42 - 47.
8. Carvalho, J., Ribeiro, A., Castro, J., Vilarinho, C. and Castro, F. (2015). Biodiesel production by microalgae and macroalgae from north littoral Portuguese coast, WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities: 1st International Conference, 1-6.
9. Черних В.П., Аврвменко Н.М. (2016). Фармацевтична енциклопедія. Моріон. 1632 с.
10. Дячок І.Л., Піняжко О.Р. (2016). Розроблення методу кількісного визначення органічних кислот в комплексному фітополіекстракті // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. №2, С. 52-57.
11. Carlos A. Martínez-Huitle, Manuel A. Rodrigo, Ignasi Sirés, Onofrio Scialdone.(2023). A critical review on latest innovations and future challenges of electrochemical technology for the abatement of organics in water Applied Catalysis B: Environment and Energy, 328(13-14):122430

Отримано в редакцію 16.06.2024
Прийнято до друку 25.09.2024

Received 16.06.2024
Approved 25.09.2024