

Биологичните батерии – иновационна технология, вдъхновена от природата

Йолина Хубенова

Бактериите ни предпазват от патогенни видове, помагат за усвояване на храната, използват се от векове за консервиране на хранителни продукти. В кръговрата на веществата те са стожерите за запазване на екологичното равновесие чрез разграждане на органичната материя в ролята си на редуценти, а в развитото общество намират огромно приложение – от синтез на ензими, лекарствени средства до про- и антибиотици.

През последните 10 години бе създадена и развита нова технология, използваща микроорганизми – тази на микробни горивни елементи. Всъщност технологията е съчетание на принципите на класическите горивни елементи и способността на някои бактериални видове да пренасят електрони извънклетъчно (екстрацелуларно). В процеса на усвояване на хранителни вещества от средата те ги окисляват за получаване на биологична енергия (под формата на аденозин трифосфат

Бактериите имат уникални свойства. Те могат да общуват помежду си и да се приспособяват към екстремни условия на заобикалящата ги среда. Могат да използват разнообразни органични вещества като въглероден източник и да превърнат вредните за други организми неорганични субстанции като тежки метали и дори радиоактивни вещества в полезни за себе си.

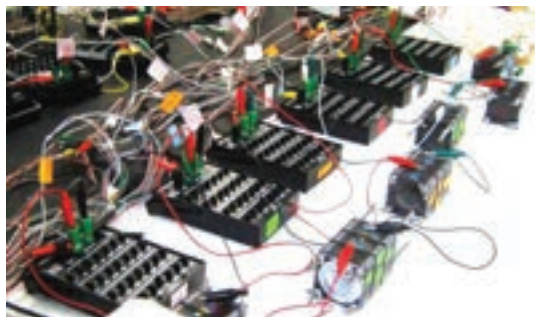


(АТФ) и градивен материал за изграждане на биополимери. Част от произведените в процесите на окисление електрони могат да бъдат пренесени до анода. Биологичният смисъл на този феномен е да се използват налични в средата вещества, например минерални оксиди, като краен електронен акцептор, което в анаеробни условия (без кислород) позволява оптимизирането на енергийния добив. Ако поставим тези бактерии в подходяща за развитието им биоелектрохимична конструкция се оказва, че те могат да използват анода, притежаващ подходящ потенциал, и

да го включат в собствените си електрон-транспортни вериги. Поради наличието на разлика в електродните потенциали извънклетъчните електрони преминават от анода по външна електрическа верига до катода, където се осъществява редукция на кислорода – в системата протича електричен ток. По този начин химическата енергия

на изходните субстрати (хранителни вещества) се превръща в електричен ток, бактериите се превръщат в милиони малки „био-електроцентрали“, а микробиалните горивни елементи могат да се разглеждат като биологични батерии. За разлика от обикновените батерии, които генерират електричен ток чрез осъществяване на определена окислително-редукционна реакция, за което се нуждаят от химически катализатори, в микробиалните горивни елементи бактериите играят роля на биокатализатори.

По основни показатели единичен микробиален горивен елемент не може да се конкурира все още със стандартна батерия. Макар че принципът и на двете технологии се основава на галванични елементи, развитието на батериите има над 150-годишна история, докато микробиалните горивни елементи са все още в своя най-ранен стадий на развитие.



Микробиални горивни елементи

портните вериги са установени, но малките молекули, които осъществяват електронния пренос през периплазменото пространство, остават все още загадка за повечето видове микроорганизми. Най-изучените екзоелектрогенни бактерии принадлежат към

Сравнение на характеристиките на алкална батерия и микробиален горивен елемент.

Тип	Напрежение, V	Капацитет, Ah	Енергия, Wh	Маса, g	Цена, лв.	Трайност (след 1 год.)
Алкална батерия (AA)	1,5	2,8	4,2	25	1,00–1.50	изтощена
Биогоривен елемент	0,8	1,05	0,175	30	2,00 –15,00	продължава да функционира

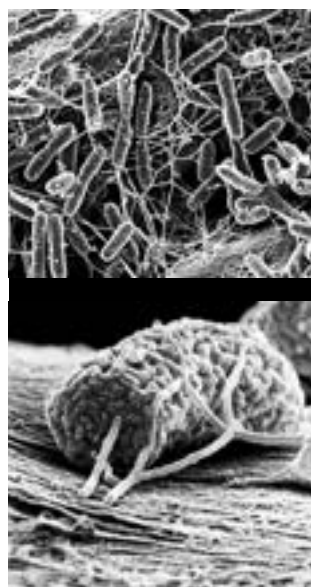
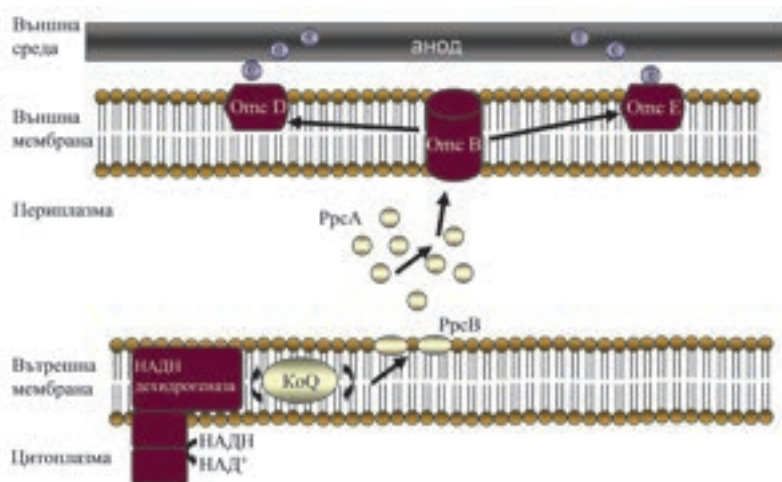
Най-съществената разлика между двете технологии обаче е фактът, че биогоривните елементи могат да осигурят непрекъснато енергийно хранене дотогава, докато бактериите се поддържат живи, използвайки естествените ресурси на средата.

Ключовият фактор за развитието на технологията на биогоривните елементи е подобряването на електронния пренос от биокатализатора до анода с оглед увеличаване на изходните електрически характеристики (ток, напрежение, мощност) и практическото ѝ приложение в по-широк мащаб. Механизмите, по които се осъществяват процесите на електронен пренос, продължават да бъдат обект на засилен изследователски интерес. Днес структурата и участието на мембранни белтъци, като цитохром оксидази и НАДН дехидрогенази, в електрон-транс-

поровете *Geobacter* и *Shewanella*. Това се дължи на способността им да редуцират желязните йони (Fe^{3+}) от заобикалящата ги среда и да ги използват като крайно стъпало (електронен акцептор) на собствените си дихателни вериги. Поради тази причина те се наричат още метал-дишащи бактерии. Механизмите на екстрацелуларен електронен транспорт в биоелектрохимичните системи могат да се обединят в два основни типа: директен екстрацелуларен електронен пренос, осъществяван чрез мембранно свързани цитохроми или чрез електрически проводими нанопишки, наречени „пили“, позволяващи на бактериите да осъществяват контакт с анодната повърхност от разстояние, и индиректен екстрацелуларен електронен пренос – чрез собствено произведени (ендогенни) или изкуствено добавени (екзогенни)

преносители на електрони, т.е. чрез електронни совалки. Смята се, че именно електронният пренос чрез собствено произведени молекули-совалки и обмен на компоненти е в основата на синтрофичната връзка между различните (микро)организми в природата, т.е. развитието на технологията се определя от приложението на този естествен природен феномен.

на основата на анаеробни процеси както за обработка на битови, така и на индустриални отпадни води. Основните предимства на тези технологии пред класическото аеробно третиране на водите са, че не се изисква енергия за аериране, произвежда се по-малко шлам и се получава метан, който може да се използва като гориво. Въпреки че част от енергията за провеждане на процеса може да



Механизъм на директен екстрацелуларен електронен пренос от метал-дишащи бактерии род *Geobacter* до анода на биогоривен елемент според хипотезата на две научни групи – Zhuwei и сътр. (2007) и Lovley и сътр. (2004). Представени са отделните участващи компоненти и важната роля на външно-мембранните цитохроми типове B, D, E (Omc – съкращение от англ. outer membrane cytochrome) и цитохромите, които вероятно пренасят електрони от електрон-транспортните вериги през периплазмното пространство (Prc – periplasm cytochrome). В процеса на окисление на редукционните еквиваленти (НАДН) с помощта на НАДН-дехидрогеназния комплекс, електроните се предават чрез електронни совалки като коензим Q (убихинон) на периплазмни цитохроми и оттам на външно-мембранно разположени цитохроми, които отдават електроните на външния акцептор – електрода

Електронно-микроскопски снимки на електропроводими пили на бактерии върху електродна повърхност. Електропроводимите пили се наричат още наноишки и е доказано, че са различни от обикновените реснички и камшичета на бактериите

Технологията на биогоривните елементи възниква от идеята за едновременно пречистване на отпадни води и генериране на електрическа енергия, която да захрани самото съоръжение. Високите енергийни изисквания на системите за конвенционална обработка на отпадни води налагат развитието на алтернативни технологии с по-малка консумация на енергия и по-голяма производителност. През последните години се наблюдава увеличаване на дела на технологиите

се обезпечи чрез образуваната газ метан по време на анаеробната обработка, неговото използване не е толкова атрактивно, защото по-голяма част от газа се губи поради високото му парциално налягане и изтичането му от реактора. В този аспект, интегрирането на микробиални горивни елементи в сложната технологична схема на пречиствателните станции за отпадни води се смята за доста перспективно, тъй като те не само че не изискват, но дори произвеждат

електрическа енергия при разграждането на съдържащата се в отпадните води органична материя.

Биологичните батерии могат да намерят приложение и за автономно захранване на измервателни уреди и биосензори в открити акватории, непроходими местности и в райони без изградена електрическа мрежа. През 2008 г. Ленард Тендер (Tender) демонстрира работещ метеорологичен буѝ, захранван единствено от седиментен биогоривен елемент, закопчен на морското дъно. Биогоривният елемент генерира ток чрез бактериално окисление на органични вещества, намиращи се в анаеробната морска утайка, съчетано с редукция от кислорода, съдържащ се в по-горния воден слой. Уредът измерва температурата на въздуха, налягането, относителната влажност, температурата на водата и изпраща данните в реално време чрез радиосигнал.

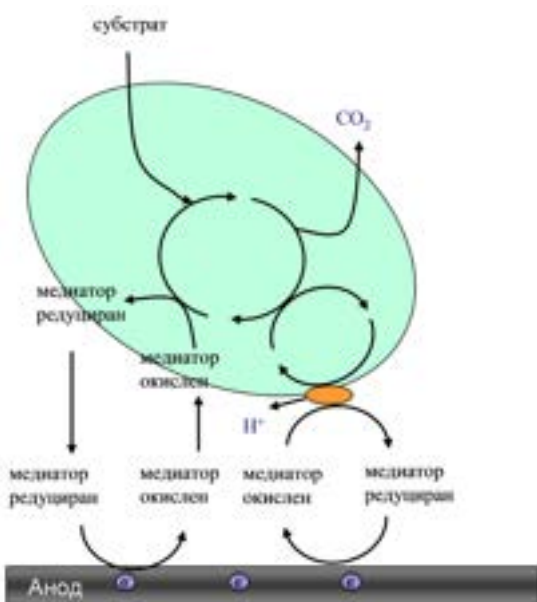


Схема на индиректен електронен пренос в биоелектрохимична система. В процеса на окисление на органични и неорганични вещества в бактериалните клетки се включват специфични метаболитни пътища и се произвеждат медиатори на електронен пренос. Редуцираните медиатори напускат клетките и отдават електрони на анода, като се окисляват и са готови да повторят цикъла



Йолина Хубенова е завършила генно и клетъчно инженерство в СУ „Св. Климент Охридски“. В момента работи в катедра „Биохимия и микробиология“ на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“. Доктор на биологичните науки.

Едно от интересните приложения е използването на биогоривните елементи в развитието на биороботиката. В това отношение изключителен напредък има групата на проф. Джон Грийнман (Greenman) от Бристолския университет. Създадени са три поколения роботи, придвижващи се чрез биогоривни елементи, генериращи електрически ток за захранване на робота от бактериалното разграждане на насекоми.



Биоробот, придвижван от електрическата енергия на микробиологични горивни елементи, използван за пречистване на замърсени природни местности

ЛЪЧ СВЕТИНА ВЪРХУ ЕВОЛЮЦИЯТА НА ЧОВЕКА

Наскоро се появиха съобщения, че НАСА разработва биогоривни елементи за рециклиране на отпадни продукти и получаване на вода, които ще бъдат внедрени в космическите станции за мисии до Марс.

Друго изследвано направление за възможно приложение на биогоривните елементи е биоремедиацията на органични и неорганични вещества, вкл. фосфати, нитрати, сулфати, тежки метали. Една от основните трудности в биоремедиацията на среда, замърсена с органични компоненти и метали, е оптималното доставяне на електронен акцептор или донор, който да иницира желаната биодеградация. Например биоремедиацията на подземни води, замърсени с нефтени продукти, обикновено е затруднена поради скъпото или технически невъзможното вкарване на кислород под земята. Могат да бъдат използвани алтернативни електронни акцептори като Fe^{3+} и сулфат, които осигуряват анаеробно дишане, но електролите представляват друга по-удобна възможност да бъдат използвани като електронен акцептор от микроорганизми.

Изследователи от Мичиганския университет демонстрират възможността за приложение на микробиалните горивни елементи дори за обезвреждане на радиоактивни отпадъци. Те са изолирали бактерии от рог *Geobacter*, покрити с фини пили, които ги предпазват от токсичните материали. Чрез тези пили бактериите се имобилизират върху радиоактивния материал, като по този начин предотвратяват неговото просмукване в подземните води. Едновременно със стабилизирането на радиоактивните отпадъци, при култивиране в биогоривни елементи бактериите са способни да генерират електрическа енергия, която може да бъде оползотворена.

Съчетавайки адаптивните свойства на микроорганизмите, формирани през милионите години еволюционно развитие, и технологичния напредък на нашето съвремие, биологичните батерии предоставят комплексно иновативно решение не само като алтернативни енергийни източници, но и като устройства за биосинтез и биоремедиация. ■

В края на 2013 г. научните списания разпространиха новината за откритието на нови 5 черепа на предци на съвременния човек в Грузия, които хвърлят допълнителна светлина върху еволюцията на човека като биологически вид. Черепите са открити в района на Дманиси, известен и с други интересни антропологически находки от предишни години. Още през 2000 г. в този район е открита долна челюст, а през 2005 г. и горната част – черепната кутия, и по този начин е възстановен целият череп, означен от палеонтолозите като D 4500. Днес се приема, че това е най-добре запазеният череп на човек от ранния плейстоцен. Вместимостта на черепната кутия е само 546 куб.см и е по-близка до тази на древните предшественици на човешкия рог – австралопитеците, отколкото до тази на съвременния човек. Интересно е, че в близост до находката на череп D 4500 са намерени остатъци от кости и каменни оръдия на труда и на други по-късно живели предшественици на човека, което прави района на Дманиси изключително интересен от палеонтологично гледище.

Изучаването на новата находка и сравняването ѝ с откритите преди това примитивни човешки черепа от африканския континент, описани в литературата като три самостоятелни вида – *Homo erectus* (Изправен човек), *Homo habilis* (Сръчен човек) и *Homo ergaster* (Работен човек или Турканско момче), е дало основание на грузинските палеоантрополози да предположат, че те всъщност са на един и същ вид човек, а различията между тях са поради различната им възраст и пол. Поради това те предлагат посочените три вида човешки предшественици да се обединят с едно име – *Homo erectus ergaster*, а грузинската находка да получи и специално име – *Homo erectus ergaster georgicus*. Но дали това ще се потвърди и приеме от световната антропологичната общност, е още рано да се каже.

По „Science“ и „Наука и жизнь“