



ВЕЧЕРНИЕ ЛЕКЦИИ

EVENING LECTURES

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

Воейкова Т.А., Емельянова Л.К., Новикова Л.М., Дебабов В.Г.

ФГУП Институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов, Москва, Россия
e-mail: voeikova@genetika.ru

В последние 10 лет открыт и интенсивно исследуется процесс генерации электрического тока бактериями-электрогенами. Эти микроорганизмы способны анаэробно окислять различные органические соединения, эффективно производить электроны, передавать их на цитоплазматическую мембрану, а с нее на различные акцепторы, в том числе и на электроды микробного топливного элемента (МТЭ). МТЭ – устройства для получения электрического тока при помощи микроорганизмов - широко используются в исследованиях, посвященных поиску альтернативных источников энергии из возобновляемого органического сырья, а также в сфере охраны окружающей среды. К преимуществам подобных технологий можно отнести их экологическую безопасность, возможность сочетать биотехнические процессы с получением электроэнергии, длительное время функционирования каждой отдельно взятой установки.

В МТЭ органическое вещество и бактерии находятся в анодной камере в анаэробных условиях. Катод, напротив, находится в аэробных условиях. Анодная и катодная камеры разделены ионоселективной мембраной, которая способна пропускать протоны, и препятствует попаданию кислорода в анодную камеру. Единственный путь электронов к конечному акцептору проходит через анод и электрическую цепь.

Изучение механизма транспорта электронов у электрогенных микроорганизмов привело к открытию электропроводных нитей, названных нанопроволоками, которые могут объединять популяции бактерий разных видов, увеличивая эффективность передачи электронов как к электроду, так и между различными бактериями. Показано, что в транспорте электронов могут принимать участие также экзогенные и эндогенные медиаторы. В настоящее время среди электрогенных культур, наиболее изученным является штамм *Shewanella oneidensis* MR1 - грамотрицательная факультативно анаэробная γ -протеобактерия, обитающая на дне моря, в осадочных отложениях и почве.

Преимущества МТЭ – это возможность переработки бактериями широкого круга субстратов, вплоть до сточных вод предприятий и отходов больших городов, а так же очень высокая кулоновская эффективность, при которой свыше 80% электронов, образующихся в процессе окисления субстрата, идут на производство тока. Общим недостатком МТЭ является высокое внутреннее сопротивление и недостаточно эффективное окисление протонов на катоде. Следствием этого является низкая плотность тока. За 10 лет исследований плотность тока была повышена в МТЭ на несколько порядков - от 0,1 мВт/кв.м до 4,3 Вт/кв.м. Повышение эффективности МТЭ было достигнуто путем совершенствования самих МТЭ: подбор материала и увеличение площади электродов, подбор мембран, конструкция ячеек, снижающих внутреннее сопротивление. Однако основными факторами, определяющими эффективность генерации тока МТЭ, являются характеристики микроорганизмов, во-первых, скорость, с которой микробные клетки могут окислять субстрат, т.е. удельная скорость производства электронов и во-вторых, способность клеток к передаче этих электронов на электрод. На сегодняшний день в мировой литературе нет исследований, направленных на создание микробных клеток с повышенной способностью генерировать электроны.

В настоящей работе представлены данные по получению у *S. oneidensis* MR-1 мутантов, характеризующихся повышенным уровнем производства электронов и более высокой скоростью потребления органического субстрата. Обсуждаются методы, позволяющие оценить уровень генерации электронов у различных микроорганизмов. Показана корреляция между интенсивностью метаболизма окисляемых субстратов и скоростью восстановления красителя метиленового синего, являющегося медиатором переноса электронов. Полученные мутанты *S. oneidensis* MR-1 с увеличенной потенциальной электрогенностью могут быть использованы в микробных топливных элементах для интенсификации процессов получения электроэнергии из органических соединений.

Представляется актуальной возможность получения биоэлектроэнергии в искусственных антропоэкосистемах, таких как орбитальные космические станции и, в будущем, межпланетные корабли. Известно, что утилизация отходов при длительных межпланетных экспедициях представляет большую проблему. Использование в качестве субстратов для жизнедеятельности микроорганизмов некоторых видов отходов, могло бы решить проблему их утилизации с одновременным получением дополнительного альтернативного источника энергии. Обсуждается потенциальный рынок применения технологии получения электричества на основе микробных топливных элементов, вырабатывающих энергию из промышленных отходов.

Исследования поддержаны грантом РФФИ №10-04-00410-а

BACTERIAL ELECTRICAL POWER STATIONS – ALTERNATIVE SOURCE OF PURE ENERGY

Voeikova T. A., Emelyanova L.K., Novikova L.M., Debabov V.G.

State Research Institute of Genetics and Selection of Industrial Microorganisms. Moscow, Russia.
e-mail: voeikova@genetika.ru

10 years ago the process of generation of electrical current by electrogenic bacteria was discovered and currently it is intensively studied. Under anaerobic conditions these microbes are able to oxidize different organic compounds, effectively generate electrons and transfer them to cytoplasmic membrane and from it on different acceptors in particular on the electrodes of microbial fuel cells (MFC). MFC are the devices for electrical current generation using electrogenic microbes, and they are widely used in studies devoted to the search of alternative sources of energy from the recoverable organic stuff. The advantages of such technological processes include their ecological safety, opportunity to combine biotechnical processes with energy gain, long-lasting time of functioning of each particular MFC.

In MFC organic substances and bacteria are present in an anodic chamber in anaerobic conditions while cathode is in aerobic conditions. Anodic and cathode compartments are separated with an ion-selective membrane that is permeable for protons but does not allow oxygen to get into the anodic compartment. The only way for electrons to reach the final acceptor is through the anode and the electrical chain.

In course of the studies of electron transport in electrogenic microorganisms electronconductive threads known also as “nano-wires” were discovered. They may connect populations of microbes belonging to different species increasing efficiency of electron transport between bacteria as well as from bacteria to electrodes. It has been shown that both endogenous and exogenous mediators may participate in electron transport. Currently the most intensively studied electrogenic bacteria are *Shewanella oneidensis* MR-1 – gram-negative facultative anaerobic γ -proteobacteria, living in Nature at sea bottom, in sediments and in soil.

MFC allow using wide range of substrates for bacteria including manufacturing water and sewage of big cities. MFC exhibit high Coulomb efficiency – more than 80% of electrons gaining in the course of substrate oxidation go for electrical current generation. Common disadvantages of MFC are high internal resistance and not efficient enough oxidation of protons at the cathode resulting in low current density. However during 10-year research in this field current density could be elevated for several orders of magnitude – from 0,1 mW/m² to 4,3 W/m². Increase in efficiency of MFC was reached mainly due to technical improvements though the major factors governing current generation efficiency of MFC are the properties of electrogenic bacteria including the rate with which microbial cells can oxidize substrate, in other words, specific rate of electrons generation, and ability of bacterial cells to transfer electrons to the electrode. Currently there are no published researches aimed to produce microbes with the enhanced ability to generate electrons.

Here we present report about selection of *S. oneidensis* MR-1 mutants with elevated level of electron generation and higher rate of organic substrates consumption. Methods allowing estimating levels of electron generation by different microorganisms are discussed. Correlation between the intensity of metabolism of oxidizing substrates and the rate of reduction of methylene blue dye serving the mediator of electron transfer is demonstrated. Mutants of *S. oneidensis* MR-1 with

increased potential electrogenicity may be used in MFC for intensification of the processes of electricity gain from organic substances.

We consider as an actual task opportunity to generate bioelectricity in artificial anthropo-ecological systems such as orbital spacecrafts and interplanetary spacecrafts. It is well known that sewage utilization in the course of prolonged space flight is a serious problem. Usage of organic debris as substrate for electrogenic microorganisms can help to solve this problem together with gaining additional source of energy. The potential market for application of technology of energy generation using MFC with simultaneous utilization of industrial sewage is considered.

This research is supported by RFFR grant №10-04-00410-a
