

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен „Доктор” по научна специалност “Технология за пречистване на водите”,
Професионално направление 5.10. “Химични технологии”

Тема:

„ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ПОВЕДЕНИЕТО НА БИО-
ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ СИСТЕМИ“

Автор: инж. ЯНА ЙОРДАНОВА МЕРСИНКОВА

Научен ръководител: доц. д-р инж. Хюсеин Йеменджиев

Рецензент: доц. д-р Златка Алексиева

Микробните горивни клетки (МГК) придобиха огромно глобално значение пред последните няколко десетилетия. Те са основен елемент от развитието на обещаваща технология в областта на биоелектрохимичните системи и нововъзникващо изследователско поле за разграждане на токсични и устойчиви замърсители, наред с продуцирането на електроенергия. Специалните характеристики включително спестяване на енергия, по-малко утайки и производство на енергия, възможност за работа при всякаква температура, придават на МFC важни предимства в сравнение с конвенционалните технологии. Въпреки все още лабораторното ниво на приложенията на МГК за производство на електрически ток, технологията притежава голям потенциал за индустриално приложение в бъдеще. Редица изследвания са фокусирани върху различни въпроси, свързани с МГК технологията, включваща дизайни и конфигурации на МГК, модификации на повърхността на електродите, анализ на микробните съобщества, условията за изпълнение и образуване на биофилм, основни механизми за електронен трансфер, капацитет за отстраняване на органични вещества, въздействие върху околната среда, индустриална комерсиализация на МГК и др.

Знанията, получени от идентифицирането и секвенирането на геномите на различни електрогенни микробни щамове, комбинирани и свързани с използването им в МГК системи би позволило да разберем важни механизми за генната регулация и метаболитните пътища на биотрансформация на редица субстрати в МГК, за прогнозиране на кинетиката на микробния растеж, за увеличаване на субстратното биоразграждане, образуване на продукти или производство на електроенергия.

Въпреки това, все още липсват достатъчно изчерпателни данни и знания за прилагането на МГК за възстановяване на замърсителите на околната среда. В представената дисертационна разработка са поставени задачи с отношение към голяма част от тези проблеми.

В този контекст, предложената за рецензиране дисертация може да бъде определена като актуално и значимо научно изследване с фундаментален характер с несъмнен потенциал за практическо приложение.

Дисертацията е представена на 100 страници, разпределени в стандартните за дисертационна разработка глави и е илюстрирана с 3 таблици и 24 фигури. Добър подход е представянето на списъци на илюстративния материал в началото на дисертацията. В края на материала са представени приложения като: Списък на научните публикации по темата, Списък на участия в научни форуми и Списък на научните проекти, в които участва докторантката.

В Уводът се обосновава необходимостта от внедряването на нови практики при пречистването на отпадъчни води, в това число био-електрохимични системи (БЕС), с цел да се подобри както енергийната им ефективност и влияние върху околната среда.

Литературния обзор обхваща научните познания и постижения в областта на био-електрохимичните процеси. Особено внимание е отделено на конструкциите, функционирането, процесите на деградация и разнообразното приложение на МГК-и. Отделно са представени разработки, свързани с електрохимично активни микроорганизми и електрогенния метаболизъм, особено при анаеробните бактерии. Отбелязано е използването на молекулярно-генетични техники за анализ на микробните популации. Подробно са описани факторите, оказващи влияние върху формирането на аноден биофилм и функционирането на био-електрохимичните реактори. Разгледани са и причините и пътищата за преодоляване на активационните, концентрационни и омични загуби в процеса на електронен трансфер в МГК. Обзорът завършва с преглед на възможностите за приложение на МГК за пречистване на отпадъчни води и възстановяване на енергия от тях. Заключението обобщава и подчертава трудните за решаване проблеми и големият потенциал на био-електрохимичните реактори за приложението им в практиката на пречистването на отпадъчните води.

Литературната справка съдържа 165 публикации, половината от които (83) са отпечатани от 2010 г. до сега, което подчертава актуалността и значимостта на разработваната тематика в световен план.

Целта на дисертацията е ясно обозначена и последвана от 5 задачи, отразяващи пътя за изпълнението и. Оригиналният характер на проведените изследвания се очертава още с поставянето на първите задачи, които предполагат изолиране и

идентифициране на собствени микробни щамове. И следващите 3 задачи изразяват потенциал за получаване на значими оригинални резултати.

Интердисциплинарният характер на разработката предопределя и разнообразието от използваните методи, сред които са представени класически и съвременни подходи за анализ, използвани в хода на разработката, като: изолиране и култивиране на микроорганизми, измерване на ХПК, циклична волтаметрия, диференциално термичен анализ, спектрофотометричен и масспектрометричен анализ, изолиране на бактериална ДНК, PCR амплификация, секвениране и биоинформатичен анализ, сканираща електронна микроскопия.

Глава Резултати и обсъждане започва с раздел, в който отлично са обосновани необходимите параметри за изолиране на подходящи за разработката електрохимично активни микробни култури и са представени значителни по обем данни за източника на взетите проби. Този подход предопределя успешният ход на последващите експерименти. В резултат на извършената микробиологична работа по изолиране на анаеробни бактерии от седиментните проби е изолирана и характеризирана смесена микробна култура, съдържаща микроорганизми с електрохимична и електрогенна активност. Поставен е ацент и върху прилагането на МГК при третирането на отпадъчни води, анодната култура и цялостната работа на био-електрохимичния реактор във фазата на стабилизиране на електрохимичните процеси, както и оценката на деградационните характеристики.

Изолирани и идентифицирани са 5 доминиращи бактериални щамове. Изключително добро впечатление прави, че при идентификацията е приложен полифазен таксономичен анализ, който в случая включва както морфологични (макро- и микро-) характеристики, така и молекулярен анализ на нуклеотидната последователност на гените за 16S rPHK. Три от културите са класифицирани като принадлежащи към различни видове от род *Pseudomonas*, един към *Bacillus cereus* и един към *Aeromonas fluviialis*. Получените секвенции са регистрирани в 3 глобално използвани бази данни - NCBI, DDBJ и EMBL-EBI, което утвърждава тяхното качество и достоверност.

Съществена част от експериментите са посветени на изследване на подходящото външно съпротивление за установяване на най-благоприятните електрически параметри на двукамерната МГК. Получени са оригинални резултати, демонстриращи връзката между външното съпротивление, анодния потенциал и произтичащите от това ефекти върху микробния метаболизъм, отделно от чисто електрическото влияние върху

мощността и тока. В случая, концентрацията на органични киселини в анодното отделение е индикатор за биохимичното състояние на микробната култура. Изследвани са четири режима на съпротивление във външната верига при пълно припокриване на останалите параметри. Чрез дълготрайно проследяване на стойностите на ХПК и съдържанието на органични киселини в анодната камера е установено, че най-подходящи условия за анаеробно дишане, с най-високата степен на деградация и минерализация от близо 70%, се наблюдават при съпротивление (анод-катод) от порядъка на 100 Ω . Най-високата плътност на мощността, наблюдавана по време на това проучване е 3,6 $W.m^{-2}$, която е една от най-високите, докладвани за МГК в наше време.

Друга изключително интересна част от анализите в настоящата разработка е посветена на опита да се увеличи ефективността на изпитваната биоелектрохимична система, чрез прилагане на микробна анодна имобилизация. Предимствата на микробната имобилизация в индустриалните биотехнологии са отдавна известни, но причиняват редица усложнения и неблагоприятни ефекти при МГК. За да се преодолеят тези ефекти е разработен и приложен оригинален метод, чрез който с хитозан, съдържащ въглеродни наночастици се модифицира повърхността на въглеродния анод, върху който се имобилизират обработени с глутаров алдеhid микробни клетки. Успешната имобилизация е потвърдена чрез сканираща електронна микроскопия. В резултат на имобилизацията ясно се доказва, че се наблюдава преимуществена деградация чрез активно анодно дишане (по-висока кулонова ефективност) и се генерират значително по-високи стойности на тока (достигащи до 204 микроампера).

В следващият експериментален етап са получени резултати, целящи да демонстрират предимствата на био-електрохимичните процеси пред конвенционалната метанизация при пречистването на концентрирани отпадъчни води. Получените резултати са добре таблично илюстрирани и показват преимуществата на МГК по отношение на температурния режим, степента на пречистване, максималната скорост на редуция на ХПК, добива на излишна активна утайка и възстановяването на енергия. Важно предимство на пречистването чрез БЕС е икономията на разходи за енергия и труд за обработка на получаваният значителен обем утайка при пречистване чрез метанизация. Ясно се демонстрира и потенциала на био-електрохимичните методи за по-щадящо въздействие върху парниковият ефект и климата.

Във финалната част на дисертационната разработка са формулирани 12 изводи и 7 приноси, логично съответстващи на получените резултати, които съвпадат в голяма степен с описаните в рецензията постижения.

Въпроси

1. Кой е направил конструкцията и изпълнението на МГК?
2. Как осигурявате анаеробните условия на култивиране преди зареждане на МГК?
3. Как се осъществява външното съпротивление в системата на МГК и как се постига добър баланс между вътрешното и външно съпротивление?

Забележки

- Няма единна редакция на всички цитирани литературни източници, което в известна степен затруднява намирането на цитираните в текста източници. При източник 137 са пропуснати авторите.
- В глава Материали и методи е пропуснат методът на сканираща електронна микроскопия.

Тези, както и някои други технически пропуски при оформянето на дисертационният труд не намаляват неговата научна стойност.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработката на дисертацията на тема „Фактори, влияещи върху поведението на био-електрохимични системи“ са постигнати значими оригинални резултати и научни и научно-приложни приноси.

При експерименталната си дейност, инж. Яна Мерсинкова използва богат арсенал от класически и съвременни аналитични, микробиологични и молекулярно-генетични методи, което я е изградило като високо квалифициран, методологично подготвен специалист.

Ценен принос на разработката, която сама по себе си е цялостно изпълнено изследване е това, че тя създава солидна основа за продължаване на изследванията в няколко различни направления, като напр.: Оптимизиране както на самите био-електрохимични реактори, така и на параметрите на процеса; Оптимизиране на процеса по отношение на скоростите на деградация чрез увеличаване на анодните площи; Създаване на кинетични модели на микробния растеж, които да позволят по-точна

прогноза и оценка на биоразграждането на субстрата; Ензимната експресия и необходими за целта гени; Разбиране и моделиране на генна регулаторна мрежа, свързваща моделиране на генна регулация на специфични метаболити; Създаване на различни МГК-и с приложения като биореактори и биоремедиатори в индустриален мащаб, както и при отстраняване и мониторинг на замърсителите от околната среда.

Дисертацията е написана в много добър стил с ясен изказ и обяснения дори на най-сложни процеси, което показва задълбочено познаване на предмета на изследване и професионално интерпретиране на получените експериментални данни.

Докторантката е представила достатъчен брой научни трудове *по темата на разработката* - 4 научни публикации: *J. Adv. Biol.Biotechnol.*, 2020, *J. Chem.Technol.Metal.*, 2020, *SJR 0.22*, *J. Agricul.Chem. Environ.*, 2020; и *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2022, *IF 1.632*.

Документите и материалите, представени от инж. Яна Йорданова Мерсинкова отговарят на всички изисквания на ЗРАСРБ и Правилника за прилагането му. Постигнатите от инж. Яна Мерсинкова резултати напълно покриват всички формални и съдържателни изисквания за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, заложен в съответните нормативни документи. След запознаване с представените в разработката резултати, анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях оригинални научни и научно-приложни приноси, намирам за основателно да дам своята положителна оценка и да препоръчам на НЖ да присъди на инж. Яна Мерсинкова ОНС „Доктор“.

07.04.2022

Изготвил рецензията:

(доц. д-р Златка Алексиева)

Подпис заличен
Чл.2 от ЗЗЛД