

М 59



Т.П. ПИРОГ, І.О. ІУТИНСЬКА,
А.П. СОФІЛКАНИЧ, А.Д. КОНОН

МІКРОБНІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ У ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЯХ



НАЦІОНАЛЬНА
АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МІКРОБІОЛОГІЇ
І ВІРУСОЛОГІЇ ім. Д. К. ЗАБОЛТНОГО
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE
ZABOLOTNY INSTITUTE
OF MICROBIOLOGY AND VIROLOGY
NATIONAL UNIVERSITY
OF FOOD TECHNOLOGIES

T. PIROG, G. IUTYNSKA,
A. SOFILKANYCH, A. KONON

MICROBIAL
SURFACTANTS
IN
ENVIRONMENTAL
TECHNOLOGIES

*«SCIENTIFIC BOOK»
PROJECT*

KYIV • NAUKOVA DUMKA • 2016

Т. П. ПИРОГ, Г. О. ІУТИНСЬКА,
А. П. СОФІЛКАНИЧ, А. Д. КОНОН

МІКРОБНІ
ПОВЕРХНЕВО-
АКТИВНІ РЕЧОВИНИ
У ПРИРОДООХОРОННИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ

ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»

У монографії наведено дані щодо інтенсифікації синтезу мікробних поверхнево-активних речовин на різноманітних промислових відходах (олієжирової, цукрової, молочної промисловості, сільського і лісового господарств, виробництва біодизеля та з відпрацьованих рослинних олій). Розкрито біотехнологічний потенціал бактерій родів *Rhodococcus*, *Nocardia* і *Acinetobacter* як деструкторів ароматичних, гетероциклічних і аліфатичних ксенобіотичних сполук, а також синтезованих ними поверхнево-активних речовин для деструкції нафтових забруднень у воді й ґрунті, у тому числі комплексних з важкими металами.

Для біотехнологів, мікробіологів, біохіміків, викладачів і студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками «Біотехнологія» та «Біологія».

The monograph presents information about the intensification of the synthesis of microbial surfactants on various industrial wastes (oil, fat, sugar, dairy industry, agriculture, forestry, biodiesel, as well as waste vegetable oils), biotechnological potential of bacterial of genera *Rhodococcus*, *Nocardia* and *Acinetobacter* as destructors of aromatic, heterocyclic and aliphatic xenobiotic compounds, and the use of synthesized surfactants for the degradation of petroleum contaminants in water and soil, including complex pollution with heavy metals.

For biotechnologists, microbiologists, biochemists, professors and university students who are studying in «Biotechnology» and «Biology».

Р е ц е н з е н т и :

доктор технічних наук Н. Ф. КІГЕЛЬ,
доктор хімічних наук, професор Є. В. КУЗЬМІНСЬКИЙ

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України
(протокол № 6 від 17 червня 2014 р.)*

**Видання здійснено за державним замовленням
на випуск видавничої продукції**

Науково-видавничий відділ медико-біологічної,
хімічної та геологічної літератури

Р е д а к т о р *К. С. Потійчук*

© Т. П. Пирог, Г. О. Іутинська,
А. П. Софілканич, А. Д. Конон, 2016
© НВП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
Р О З Д І Л 1. БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БАКТЕРІЙ РОДУ <i>RHODOCOCCLUS</i> ТА ЇХ МЕТАБОЛІТІВ.....	7
1.1. Використання представників роду <i>Rhodococcus</i> для біодеградації ксенобіотиків	7
1.2. Використання представників роду <i>Rhodococcus</i> у процесах біотранс- формації.....	14
1.3. Практичне використання метаболітів, синтезованих бактеріями роду <i>Rhodococcus</i>	17
Р О З Д І Л 2. БАКТЕРІЇ РОДУ <i>NOCARDIA</i> ЯК ОБ'ЄКТИ БІОТЕХНОЛОГІЇ	29
2.1. Використання представників роду <i>Nocardia</i> для деградації нафтових забруднень	29
2.2. Біосинтез практично цінних метаболітів.....	34
2.3. Біосинтез поверхнево-активних речовин	39
Р О З Д І Л 3. БІОСИНТЕЗ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДАХ	44
3.1. Нафтовмісні відходи як субстрати для синтезу поверхнево-активних речовин	45
3.2. Використання олієвмісних субстратів для синтезу мікробних поверхнево- активних речовин	47
3.3. Трансформація відходів молочної і цукрової промисловості у поверхнево- активні речовини мікробного походження	59
3.4. Утворення мікробних поверхнево-активних речовин на лігно- целюлозних відходах.....	65
3.5. Синтез поверхнево-активних речовин мікробного походження на крохмалевмісній сировині	67
Р О З Д І Л 4. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ СИНТЕЗУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН <i>RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS</i> IMB Ac-5017, <i>ACINETOBACTER</i> <i>CALCOACETICUS</i> IMB B-7241 І <i>NOCARDIA VACCINII</i> IMB B-7405	70
4.1. Синтез поверхнево-активних речовин за умов росту <i>Rhodococcus</i> <i>erythropolis</i> IMB Ac-5017 на промислових відходах	70

Зміст

4.2. Інтенсифікація біосинтезу поверхнево-активних речовин <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017 на олієвмісних субстратах.....	75
4.2.1. Синтез поверхнево-активних речовин залежно від способу підготовки інокуляту	75
4.2.2. Вплив глюкози на синтез поверхнево-активних речовин	76
4.2.3. Утворення поверхнево-активних речовин <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017 за наявності меляси.....	78
4.2.4. Вплив екзогенного <i>n</i> -гексадекану на синтез поверхнево-активних речовин	80
4.3. Промислові відходи як субстрати для синтезу поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ІМВ В-7241 і <i>Nocardia vaccinii</i> ІМВ В-7405	81
Р О З Д І Л 5. ТЕХНОЛОГІЇ МІКРОБНОГО СИНТЕЗУ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ	86
5.1. Загальна характеристика технології отримання біодизеля	86
5.2. Одно-, двоатомні спирти та поліоли	88
5.3. Органічні кислоти.....	96
5.4. Інші продукти мікробного синтезу	99
Р О З Д І Л 6. ТЕХНІЧНИЙ ГЛІЦЕРИН ЯК СУБСТРАТ ДЛЯ СИНТЕЗУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН <i>RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS</i> ІМВ Ас-5017, <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> ІМВ В-7241 І <i>NOCARDIA VACCINII</i> ІМВ В-7405	110
6.1. Синтез поверхнево-активних речовин <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ІМВ В-7241 і <i>Nocardia vaccinii</i> ІМВ В-7405 на відходах виробництва біодизеля	111
6.2. Шляхи підвищення біоконверсії технічного гліцерину в поверхнево-активні речовини <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ІМВ В-7241 і <i>Nocardia vaccinii</i> ІМВ В-7405	118
Р О З Д І Л 7. УЧАСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ У РОЗКЛАДАННІ АРОМАТИЧНИХ СПОЛУК	126
7.1. Деструкційна здатність мікроорганізмів	127
7.1.1. Фактори, що впливають на асиміляцію ароматичних субстратів мікроорганізмами	130
7.1.2. Шляхи інтенсифікації розкладання ароматичних сполук мікроорганізмами	132
7.2. Особливості практичного використання мікроорганізмів для очищення довкілля від ксенобіотиків ароматичної природи.....	138
7.3. Асиміляція ароматичних сполук <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ІМВ В-7241 і <i>Nocardia vaccinii</i> ІМВ В-7405	141
7.3.1. Умови культивування штамів ІМВ В-7241, ІМВ В-7405 і ІМВ Ас-5017 на ароматичних сполуках	141

Зміст

7.3.2. Особливості росту <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMB Ac-5017 на субстратах ароматичної природи	143
7.3.3. Ріст <i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405 і <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241 на ароматичних сполуках	145
7.3.4. Синтез поверхнево-активних речовин штамами IMB B-7405, IMB B-7241 і IMB Ac-5017 за умов росту на ароматичних сполуках	149
7.3.5. Вплив якості інокуляту на здатність штамів IMB B-7405 і IMB B-7241 асимілювати ароматичні сполуки	153
7.3.6. Ріст <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241 і <i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405 у послідовних пересівах на середовища з субстратами ароматичної природи	155
Р О З Д І Л 8. МІКРОБНІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ У БІОРЕМЕДІАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ	158
8.1. Механізми деструкції нафти	159
8.2. Очищення води і ґрунту від нафти та інших вуглеводнів.....	159
8.3. Вилучення токсичних металів	165
8.4. Деструкція комплексних забруднень	167
8.5. Фіторемерація	168
8.6. Обмеження й перспективи використання мікробних поверхнево-активних речовин	169
Р О З Д І Л 9. ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН <i>RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS</i> IMB Ac-5017, <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> IMB B-7241 і <i>NOCARDIA VACCINII</i> IMB B-7405 ДЛЯ ДЕСТРУКЦІЇ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ	176
9.1. Біодеградабельність поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMB Ac-5017 і <i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405	176
9.2. Очищення води від нафти за наявності клітин <i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405	181
9.3. Вплив поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMB Ac-5017 і <i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405 на деструкцію нафтових забруднень	186
9.3.1. Вплив препаратів поверхнево-активних речовин на ефективність мікробної деструкції нафти у воді	190
9.3.2. Деструкція нафти в ґрунті після обробки препаратами поверхнево-активними речовинами	193
9.3.3. Деструкція комплексних з важкими металами нафтових забруднень у воді за наявності препаратів поверхнево-активних речовин	195
9.3.4. Вплив препаратів поверхнево-активних речовин на ефективність мікробної деструкції нафти у ґрунті за наявності металів	197
9.3.5. Механізми підвищення деструкції нафти за наявності препаратів поверхнево-активних речовин і катіонів міді	199

Зміст

9.3.6. Порівняльна характеристика поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ІМВ В-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> ІМВ Ас-5017 і <i>Nocardia vaccinii</i> ІМВ В-7405 з комерційним препаратом «Деворойл»	201
9.3.7. Нафтовідмивні властивості поверхнево-активних речовин штамів ІМВ В-7241, ІМВ Ас-5017 та ІМВ В-7405	202
Д О Д А Т О К А. ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВИТРАТ НА ОТРИМАННЯ ПРЕПАРАТИВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> ІМВ В-7241 І «ДЕВОРОЙЛ» ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ	205
Д О Д А Т О К Б. ОЦІНЮВАННЯ ПРОГНОЗОВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ ПІД ЧАС ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНОГО НАФТОЮ ГРУНТУ	212
ВИСНОВКИ	219
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	225
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	270

CONTENTS

FOREWORD	5
C H A P T E R 1. BIOTECHNOLOGY POTENTIAL OF BACTERIA OF GENUS <i>RHODOCOCCUS</i> AND THEIR METABOLITES	7
1.1. Use of representatives of genus <i>Rhodococcus</i> for biodegradation of xenobiotics.....	7
1.2. Use of representatives of genus <i>Rhodococcus</i> in the biotransformation processes	14
1.3. Practical use of metabolites synthesized by bacteria of the genus <i>Rhodococcus</i> ...	17
C H A P T E R 2. BACTERIA OF GENUS <i>NOCARDIA</i> AS OBJECTS OF BIOTECHNOLOGY	29
2.1. Use of representatives of the genus <i>Nocardia</i> for degradation of oil contamination	29
2.2. Biosynthesis of practically valuable metabolites	34
2.3. Biosynthesis of surface active substances.....	39
C H A P T E R 3. BIOSYNTHESIS OF SURFACE ACTIVE SUBSTANCES ON INDUSTRIAL WASTE	44
3.1. Oily waste as substrates for synthesis of surface active substances.....	45
3.2. Use of fatty substrates for synthesis of microbial surfactants.....	47
3.3. Transformation of dairy and sugar industry waste into microbial surface active substances	59
3.4. Formation of microbial surfactants on lignocellulosic waste	65
3.5. Synthesis of microbial surface active substances on starch raw material	67
C H A P T E R 4. ALTERNATIVE CARBON SOURCES FOR SURFACTANTS SYNTHESIS BY <i>RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS</i> IMV Ac-5017, <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> IMV B-7241 AND <i>NOCARDIA VACCINII</i> IMV B-7405	70
4.1. Surface active substances synthesis while <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 growth on industrial waste	70
4.2. Intensification of surfactant biosynthesis by <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 on oil containing substrates	75

Contents

4.2.1. Synthesis of surfactants depending on the way of inoculum preparation	75
4.2.2. Glucose effect on surfactants synthesis.....	76
4.2.3. Formation of surfactants by <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 in the presence of molasses	78
4.2.4. Effect of exogenous <i>n</i> -hexadecane on the synthesis surface active substances.....	80
4.3. Industrial waste as substrates for synthesis of surface active substances by <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405	81
C H A P T E R 5. MICROBIAL SYNTHESIS TECHNOLOGIES BASED ON WASTE OF BIODIESEL PRODUCTION	86
5.1. Overview of biodiesel technology	86
5.2. Monatomic, diatomic alcohols and polyols	88
5.3. Organic acids	96
5.4. Other products of microbial synthesis	99
C H A P T E R 6. TECHNICAL GLYCEROL AS A SUBSTRATE FOR SURFACTANTS SYNTHESIS BY <i>RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS</i> IMV Ac-5017, <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> IMV B-7241 AND <i>NOCARDIA VACCINII</i> IMV B-7405	110
6.1. Surfactants synthesis by <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 on biodiesel production waste.....	111
6.2. Ways to improve the bioconversion of technical glycerol into surface active substances of <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405	118
C H A P T E R 7. PARTICIPATION OF MICROORGANISMS IN THE DECOMPOSITION OF AROMATIC COMPOUNDS	126
7.1. Destructive ability of microorganisms	127
7.1.1. Factors that affect the assimilation of aromatic substrates by microorganisms	130
7.1.2. Ways to intensify the decomposition of aromatic compounds by microorganisms	132
7.2. Features of practical use of microorganisms for cleaning the environment from aromatic xenobiotics.....	138
7.3. Assimilation aromatic substances by <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017, <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405	141
7.3.1. Conditions of cultivation of strains IMV B-7241, IMV B-7405 and IMV Ac-5017 on aromatic substances	141
7.3.2. Growth features of <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 on substrates of aromatic nature	143

Contents

7.3.3. Growth of <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 and <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 on aromatic substances	145
7.3.4. Surfactants synthesis by strains IMV B-7405, IMV B-7241 and IMV Ac-5017 during growing on aromatic substances	149
7.3.5. Inoculum quality influence on the ability of strains IMV B-7405 and IMV B-7241 to assimilate aromatic compounds.....	153
7.3.6. Growth of <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 in serial reseeding in environments with aromatic substrates	155
C H A P T E R 8. MICROBIAL SURFACTANTS IN ENVIRONMENT BIOREMEDIATION	158
8.1. The mechanisms of crude oil destruction	159
8.2. Water and soil remediation from oil and other hydrocarbons	159
8.3. Removal of toxic metals.....	165
8.4. The destruction of complex pollutants	167
8.5. Phytoremediation	168
8.6. Limitations and prospects for the use of microbial surface active substances.....	169
C H A P T E R 9. USING SURFACTANTS OF <i>RHODOCOCCUS</i> <i>ERYTHROPOLIS</i> IMV Ac-5017, <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> IMV B-7241 AND <i>NOCARDIA VACCINII</i> IMV B-7405 FOR DESTRUCTION OF OIL POLLUTION	176
9.1. Biodegradability of surfactants of <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405	176
9.2. Water remediation in the presence of cells <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405	181
9.3. Influence of surfactants of <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 on degradation of oil pollution	186
9.3.1. Influence of surfactants preparations on the effectiveness of microbial degradation of oil in water.....	190
9.3.2. Destruction of oil in soil after treatment with surfactants preparations.....	193
9.3.3. The destruction of complex contaminants with heavy metals and oil in water in the presence of surfactants preparations	195
9.3.4. Influence of surfactants preparations on the effectiveness of microbial degradation of oil in soil in the presence of metals	197
9.3.5. Mechanisms for increasing degradation of oil in the presence of surfactants preparations and copper cations	199
9.3.6. Comparative characteristics of surfactants of <i>Acinetobacter</i> <i>calcoaceticus</i> IMV B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 with the commercial preparation «Devoroyl».....	201
9.3.7. Oil detachment properties of surfactants of strains IMV B-7241, IMV Ac-5017 and IMV B-7405	202

Contents

A P P E N D I X A. COMPARISON OF COST FOR OBTAINING SURFACTANT PREPARATION OF <i>ACINETOBACTER CALCOACETICUS</i> IMV B-7241 AND «DEVOROYL» FOR ELIMINATION OF OIL POLLUTION	205
A P P E N D I X B. EVALUATION OF ESTIMATED ECONOMIC EFFICIENCY OF ENVIRONMENTAL MEASURES AFTER REMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOIL	212
CONCLUSION	219
REFERENCES	225
LIST OF ABBREVIATIONS	270