

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนางานความรู้เพื่อการจัดการปัญหาภาวะมลพิษในทะเลและอนุรักษ
ความหลากหลายทางชีวภาพบริเวณหมู่เกาะสิมู (ปีที่ 2)” ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2554 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการพิจารณาและประเมินโครงการที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขรายงาน
วิจัยนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย(SciBest) คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดการดำเนิน
โครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณบุคลากรและนิสิตของภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล และผู้ช่วยวิจัยประจำโครงการทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติการภาคสนาม
และการดำเนินการวิจัย จนประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2556

บทคัดย่อ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ชื่อโครงการ การพัฒนาองค์ความรู้เพื่อการจัดการปัญหาภาวะมลพิษในทะเลและอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพบริเวณหมู่เกาะสี่ช้าง (ปีที่ 2)

Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation
around Sichang Islands (2nd Year)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2554...จำนวนเงิน 2,205,000.- บาท (สองล้านสองแสนห้าพันบาท)
ระยะเวลาทำการวิจัย...18...เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 ธันวาคม 2554 ถึงวันที่ 15 มิถุนายน 2556...

ผู้วิจัย		โทรศัพท์	โทรสาร
รศ. ดร. กัลยา วัฒนากร	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทาง	02-218-8160	02-254-4259
	ทะเล คณะวิทยาศาสตร์	02-218-5407	02-255-0780
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		
รศ. ดร. วรวิทย์ จุฬาลักษณ์นกุล	สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ	02-218-8160	02-254-4259
	และคณะวิทยาศาสตร์	02-218-5482	
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		
ผศ.ดร.สุภางค์ จุฬาลักษณ์นกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	02-889-2138	02-441-9731
	คณะวิศวกรรมศาสตร์		
	มหาวิทยาลัยมหิดล		
ดร. ชมกฤษ วิรุณานนท์	ภาควิชาพฤกษศาสตร์	02-218-5484	02-252-8979
	คณะวิทยาศาสตร์		
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		
ดร. รุ่งทิวา เปี่ยมทองคำ	หน่วยปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิง	02-218-5482	02-218-5482
	ชีวภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ		
	คณะวิทยาศาสตร์		
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		

บทคัดย่อ

แผนการศึกษาวิจัยเรื่อง “การพัฒนาศักยภาพความรู้เพื่อการจัดการปัญหาภาวะมลพิษในทะเลและอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพบริเวณหมู่เกาะสิมิลัน (ปีที่ 2)” ประกอบด้วยการศึกษาวิจัยด้านการกระจายและแหล่งกำเนิดของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนชายฝั่งบริเวณเกาะสิมิลันและศรีราชา จ.ชลบุรี และการศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยไลโปไลติกยีสต์และแบคทีเรียชนิดดีในทรีไฟเบอร์

การศึกษาองค์ประกอบและแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินจากทะเลชายฝั่งระหว่างศรีราชา-เกาะสิมิลันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบความเข้มข้นรวมของ PAHs 16 ชนิดอยู่ในช่วง 65.2-18,970 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นเฉลี่ย 282 นาโนกรัม/กรัม PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4-6 วงมีส่วนสูงโดยเฉลี่ย 87% ของ PAHs รวม อัตราส่วนองค์ประกอบระหว่าง PAHs ที่ใช้บ่งชี้แหล่งกำเนิดพบว่าตะกอนดินบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาหลักจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การตรวจพบ PAHs หลายชนิดที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ในตะกอนในพื้นที่ศึกษา บ่งชี้ว่าตะกอนเหล่านี้เป็นตะกอนที่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่งและต่อสุขภาพของมนุษย์

การศึกษากาย่อยสลายทางชีวภาพของสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยแลคเคสที่ผลิตได้จากไลโปไลติกยีสต์สายพันธุ์ *Aureobasidium pullulans* var. *melanogenum* ที่คัดเลือกจากดินเกาะสิมิลันพบว่า สามารถย่อยสลาย Naphthalene Anthracene Pyrene และ Benzo[a]pyrene ในสารละลายได้ 24.35, 38.16, 25.38 และ 45.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับการย่อยสลายสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินด้วยแลคเคสจากยีสต์ พบว่าปริมาณ Naphthalene ลดลง 51.34 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณ Anthracene ลดลง 85.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายในเวลา 9 วัน

การคัดแยกจุลินทรีย์ชนิดดีในทรีไฟเบอร์จากดินตะกอนใต้ทะเลบริเวณเกาะสิมิลันจำนวน 26 ตัวอย่าง พบว่าสามารถคัดแยกจุลินทรีย์จากตะกอนดินใต้ทะเล 6 ไอโซเลตที่เป็นดีในทรีไฟเบอร์ซึ่งแบคทีเรียคือ *Enterococcus faecalis*, *Paenibacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus tequilensis*, *Proteus mirabilis* และ *Enterobacter asburiae* และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสาร Naphthalene Phenanthrene Pyrene และ Benzo[a]pyrene ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับดีในทรีไฟเบอร์แต่ละชนิด

ข้อมูลต่างๆที่ได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม กำหนดแนวทางการควบคุม และลดผลกระทบทางด้านลบต่อระบบนิเวศชายฝั่งบริเวณศรีราชาและเกาะสิมิลัน จ.ชลบุรีต่อไป

คำสำคัญ: โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ไลโปไลติกยีสต์ แลคเคส ดีในทรีไฟเบอร์ แบคทีเรีย การย่อยสลายทางชีวภาพ

Abstract

The project “Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation around Sichang Islands (2nd Year)” consists of two parts. The first part involves the sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal sediments of Koh Sichang and Siracha in Chonburi Province, while the second part deals with the ability of lipolytic yeast and denitrifying bacteria in biodegrading these PAHs compounds.

The characteristic distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediment samples from Koh Sichang and Siracha coastal marine area was carried out by GC-FID. The results showed that the total concentrations of 16 PAHs ranged from 65.2 to 18,970 ng/g dry weight, with median concentration of 282ng/g. The PAHs profiles were dominated by four- to six-ring compounds which accounted for 87% of total PAHs. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated that composition of PAHs in most sediment samples were characterized by pyrogenic PAH compositions. The presence of almost all human carcinogenic PAHs in the study area indicated that these sediments can impose serious threat to coastal and marine ecosystems, as well as to human health.

Biodegradability of laccase; produced by lipolytic yeast, *Aureobasidium pullulans* var. *melanogenum* from Sichang Island, on naphthalene, anthracene, pyrene and benzo[a]pyrene was determined using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The results revealed that the laccase produced from *A. pullulans* was able to degrade benzo[a]pyrene, anthracene, pyrene and naphthalene by 45.33, 38.16, 25.38 and 24.35 percent respectively, after the 48-h incubation period. For contaminated soils, degradation of naphthalene and anthracene by laccase were 51.34 and 85.06 percent respectively, after incubation for 9 days.

Denitrifying bacteria were screened from marine sediments collected from Sichang Island, Chonburi province. In this study, 8 bacterial isolates screened from marine sediments could be identified as species of *Enterococcus faecalis*, *Paenibacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus tequilensis*, *Proteus mirabilis* and *Enterobacter asburiae*. Biodegradation efficiencies depended on types of the denitrifiers.

The obtained information from this study will be helpful in developing mitigation plan for eliminating, reducing to acceptable levels and adoption of best practice environmental management technique in order to reduce the negative impacts on coastal ecosystems of Koh Sichang and Siracha.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs, lipolytic yeast, laccase, denitrifying bacteria, biodegradation

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญเรื่อง	v
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	x
บทที่ 1 บทนำรวม	1-1
บทที่ 2 การปนเปื้อนและผลกระทบของน้ำมันและมลสารอินทรีย์ต่อสภาวะแวดล้อมบริเวณเกาะสีชัง	
บทคัดย่อภาษาไทย	2-1
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	2-2
2.1 บทนำ	2-3
2.1.1 ความสำคัญและที่มาในการวิจัย	2-3
2.1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2-3
2.1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	2-4
2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2-4
2.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	2-18
2.3.1 สถานที่ทำการศึกษา	2-18
2.3.2 การเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดภาคสนาม	2-18
2.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	2-19
2.4 ผลการวิจัย	2-22
2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนพื้นทะเล	2-22
2.4.2 การปนเปื้อนของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า	2-24
2.4.3 แหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอน	2-30
2.5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	2-31
2.6 บรรณานุกรม	2-32
ภาคผนวก	2-37
ภาคผนวก ค. ผลงานทางวิชาการของโครงการที่เผยแพร่แล้ว	2-43
บทที่ 3 การย่อยสลายทางชีวภาพสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยไลโปไลติกยีสต์	
บทคัดย่อภาษาไทย	3-1
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	3-2
3.1 บทนำ	3-3

	หน้า
3.1.1 ความสำคัญและที่มาในการวิจัย	3-3
3.1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3-4
3.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3-4
3.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	3-11
3.4 ผลการวิจัย	3-15
3.4.1 การทดลองวัดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	3-15
3.4.2 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของไลเปส	3-16
3.4.3 ความสามารถในการย่อยสลายเนฟทาลินของไลเปส	3-17
3.4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายเนฟทาลินของแลคเคส	3-18
3.4.5 ทดสอบความสามารถในย่อยสลายสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วย แลคเคส	3-18
3.4.6 การทดสอบความสามารถในย่อยสลายสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน ดินด้วยแลคเคส	3-21
3.4.6.1 ความสามารถในการย่อยสลายเนฟทาลินของแลคเคส	3-21
3.4.6.2 ความสามารถในการย่อยสลายแอนทราซีนของแลคเคส	3-22
3.5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	3-22
3.6 ข้อเสนอแนะ	3-23
3.7 บรรณานุกรม	3-24
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. อาหารเลี้ยงเชื้อ	3-28
ภาคผนวก ข โครมาโตแกรมและกราฟมาตรฐาน	3-30
ภาคผนวก ค แลคเคส	3-35
ภาคผนวก ง ผลงานทางวิชาการของโครงการที่เผยแพร่แล้ว	3-36
บทที่ 4 การย่อยสลายทางชีวภาพสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยแบคทีเรียดีไนทริไฟเออร์	
บทคัดย่อภาษาไทย	4-1
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	4-2
4.1 บทนำ	4-3
4.1.1 ความสำคัญและที่มาในการวิจัย	4-3
4.1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4-4
4.1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	4-4
4.1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการ	4-4
4.2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4-4
4.2.1 กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน	4-4
4.2.2 ดีไนทริไฟอิงแบคทีเรีย	4-5

4.2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	หน้า
4.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	4-15
4.3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	4-15
4.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างตะกอนดิน	4-18
4.3.3 การคัดแยกชนิดของจุลินทรีย์จากตะกอนดิน	4-18
4.3.4 การคัดแยกดีเอ็นเอในไตรโฟอิงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการเจริญใน PAHs	4-18
4.3.5 การจำแนกชนิดจุลินทรีย์ด้วยยีน 16S rRNA	4-18
4.3.6 ทดสอบความสามารถในการย่อยสลายประกอบ PAHs	4-19
4.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง High-performance liquid chromatography	4-19
4.4 ผลการวิจัย	4-19
4.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างตะกอนดิน	4-19
4.4.2 ผลการคัดแยกชนิดของจุลินทรีย์จากตะกอนดิน	4-20
4.4.3 การคัดแยกดีเอ็นเอในไตรโฟอิงแบคทีเรีย	4-23
4.4.4 ผลการบ่งชี้ชนิดจุลินทรีย์ด้วยยีน 16S rRNA	4-29
4.4.5 ความสามารถของดีเอ็นเอในไตรโฟอิงแบคทีเรียในการย่อยสลายสารประกอบ PAHs	4-31
4.5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	4-38
4.6 ข้อเสนอแนะ	4-40
4.7 บรรณานุกรม	4-40
ภาคผนวก	4-43
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข. ผลงานทางวิชาการของโครงการที่เผยแพร่แล้ว	4-48
สรุปภาพรวมของแผนงาน	5-1
ประวัติและผลงานวิจัยของนักวิจัย	6-1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติของสาร PAHs
ตารางที่ 2.2	ผลกระทบของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
ตารางที่ 2.3	ผลกระทบของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง
ตารางที่ 2.4	ผลกระทบของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในตะกอนชายฝั่งบริเวณต่างๆของโลก
ตารางที่ 2.6	ค่าเฉลี่ยและพิสัยของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดิน
ตารางที่ 2.7	ค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณรวมของ PAHs สัดส่วนต่างๆในตัวอย่างตะกอนดิน
ตารางที่ 2.8	ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า
ตารางที่ 2.9	อัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิด PAHs จากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์
ตารางที่ 4.1	การแบ่งประเภทของแบคทีเรีย
ตารางที่ 4.2	แบคทีเรียสกุลต่างๆที่มีสายพันธุ์ที่สามารถทำให้เกิดการหายใจโดยใช้ไนเตรต
ตารางที่ 4.3	แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ได้ทั้งไนเตรตและไนไตรต์
ตารางที่ 4.4	แบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน
ตารางที่ 4.5	พิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานีเก็บตัวอย่าง
ตารางที่ 4.6	คุณสมบัติทางกายภาพตัวอย่างตะกอนดินของเกาะสีชัง
ตารางที่ 4.7	จำนวนไอโซเลตที่ได้จากตะกอนดินในแต่ละสถานี
ตารางที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเกิดแก๊สและ Nitrate Reducing ของแต่ละไอโซเลต
ตารางที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเกิดแก๊สและ Nitrate Reducing ของแต่ละไอโซเลต
ตารางที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเกิดแก๊สและ Nitrate Reducing ของแต่ละไอโซเลต
ตารางที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเกิดแก๊สและ Nitrate Reducing ของแต่ละไอโซเลต
ตารางที่ 4.12	แสดงสถานีและไอโซเลตที่มีคุณสมบัติเป็นดีไนทริไฟอิงแบคทีเรีย
ตารางที่ 4.13	ชนิดของดีไนทริไฟอิงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการใช้สารประกอบโพลีไซคลิกเอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอน
ตารางที่ 4.14	ความสามารถในการใช้โพลีไซคลิกเอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของดีไนทริไฟอิงแบคทีเรียแต่ละชนิด หลังจากการบ่มในอาหารที่มี PAHs 200 ppm ที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 วัน

ตารางที่ 4.15	ปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป 16 วัน ของแบคทีเรียดีไนทริไฟอิงที่คัดแยกได้จากตะกอนดินใต้ทะเล เมื่อเลี้ยงในอาหารสูตร MSM ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็ว 160 รอบต่อนาที	หน้า 4-37
---------------	--	--------------

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	บริเวณที่เป็นเขตการขนถ่ายสินค้าในทะเลระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชา 2-5
ภาพที่ 2.2	สาร PAHs ที่กำหนดอยู่ในรายชื่อสารพิษของ U.S. EPA (USEPA, 2000) 2-6
ภาพที่ 2.3	แสดงบริเวณศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างตะกอน 2-19
ภาพที่ 2.4	แผนภูมิสรุปวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน 2-20
ภาพที่ 2.5	การกระจายของ %sand, %silt และ %clay ในบริเวณเกาะสีชัง-อ่าวศรีราชา 2-23
ภาพที่ 2.6	การกระจายของปริมาณสาร PAHs รวมในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า 2-25
ภาพที่ 2.7	สัดส่วนร้อยละ(%) การกระจายของ PAHs 16 ชนิด ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า 2-26
ภาพที่ 2.8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการกระจายของ PAHs 16 ชนิดในบริเวณศึกษา 2-28
ภาพที่ 2.9	อัตราส่วนร้อยละของ PAHs 2-3 วง และ PAHs 4-6 วง ในตัวอย่างตะกอนแต่ละสถานี 2-28
ภาพที่ 2.10	การกระจายเชิงพื้นที่ของ PAHs ที่พบสูงสุด 6 ลำดับแรกในบริเวณศึกษา 2-29
ภาพที่ 2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ Flt/(Flt+Pyr)vs.Ant/(Ant+Phe) และ InP/(InP+BGP)vs.BaA/(BaA+Chr) ในตะกอนบริเวณศึกษา 2-31
ภาพที่ 3.1	สารโพลียูรีเทน 3-7
ภาพที่ 3.2	ไลเพสเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสบริเวณพื้นระเอสเตอร์ของโพลียูรีเทน 3-7
ภาพที่ 3.3	โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารโพลีเอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 3-8
ภาพที่ 3.4	ค่าล็อกจำนวนเซลล์และปริมาณโปรตีนของเชื้อยีสต์ <i>Aureobasidium pullulans</i> 3-15
ภาพที่ 3.5	ปริมาณกิจกรรมของไลเพสและค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ของเชื้อยีสต์ <i>Aureobasidium pullulans</i> 3-16
ภาพที่ 3.6	ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือยู่จากการย่อยสลายด้วยไลเพส 3-17
ภาพที่ 3.7	ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือยู่จากการย่อยสลายด้วยแลคเคสทางการค้า 3-18
ภาพที่ 3.8	ปริมาณสารโพลีเอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคส 3-19
ภาพที่ 3.9	ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคส 3-19
ภาพที่ 3.10	ปริมาณแอนทราซีนที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคส 3-20
ภาพที่ 3.11	ปริมาณไพรีนที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคส 3-20
ภาพที่ 3.12	ปริมาณเบนโซ[เอ]-ไพรีนที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคส 3-21
ภาพที่ 3.13	ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคสในดิน 3-21
ภาพที่ 3.14	ปริมาณแอนทราซีนที่เหลือยู่จากการย่อยด้วยแลคเคสในดิน 3-22
ภาพที่ 3.15	กราฟมาตรฐาน BSA ที่ปริมาณโปรตีน 2.5-25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 3-28
ภาพที่ 3.16	กราฟมาตรฐานของพาราไนโตรฟินอลปริมาณ 0-0.4 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร 3-28

	หน้า
ภาพที่ 3.17 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานเนฟทาไลน์	3-29
ภาพที่ 3.18 ปริมาณเนฟทาไลน์ที่เหลืออยู่จากการย่อยสลายด้วยไลเพส	3-30
ภาพที่ 3.19 ปริมาณเนฟทาไลน์ที่เหลืออยู่จากการย่อยสลายด้วยแลคเคสทางการค้า	3-31
ภาพที่ 3.20 ปริมาณเนฟทาไลน์จากการย่อยด้วยแลคเคสในดินเมื่อเวลาผ่าน 0 วัน	3-31
ภาพที่ 3.21 ปริมาณเนฟทาไลน์จากการย่อยด้วยแลคเคสในดินเมื่อเวลาผ่าน 9 วัน	3-31
ภาพที่ 3.22 ปริมาณแอนทราซีนจากการย่อยด้วยแลคเคสในดินเมื่อเวลาผ่าน 0 วัน	3-32
ภาพที่ 3.23 ปริมาณแอนทราซีนจากการย่อยด้วยแลคเคสในดินเมื่อเวลาผ่าน 9 วัน	3-32
ภาพที่ 3.24 แลคเคสที่ผลิตได้จาก <i>Aureobasidium pullulans</i> ใน Laccase production medium	3-33
ภาพที่ 3.25 การย่อยสลายสาร โพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยแลคเคส	3-33
ภาพที่ 4.1 แสดงแผนที่เกาะสีชังและชายฝั่งทะเล	4-16
ภาพที่ 4.2 แสดงสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่เกาะสีชัง	4-16
ภาพที่ 4.3 แสดงโคโลนีของจุลินทรีย์ที่ได้จากการคัดแยกจากตัวอย่างตะกอนดินสถานีที่ 9	4-21
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างเชื้อที่คัดแยกได้จากสถานีต่างๆ	4-22
ภาพที่ 4.5 แสดงดีเอ็นเอในรีไฟอิงแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากสถานีต่างๆ	4-28
ภาพที่ 4.6 แสดงดีเอ็นเอขนาด 1600 กิโลเบสของ 16S rDNA ของจุลินทรีย์สกัดได้จากตะกอนดินหมายเลข 5 และตะกอนดินหมายเลข 9	4-30
ภาพที่ 4.7 ปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เมื่อเวลาเริ่มต้นและเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน	4-32
ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ Naphthalene ต่อเวลา เมื่อใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อเริ่มต้น 5%	4-33
ภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ Phenanthrene ต่อเวลา เมื่อใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อเริ่มต้น 5%	4-34
ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ Pyrene ต่อเวลา เมื่อใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อเริ่มต้น 5%	4-34
ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ Benzo[a]pyrene ต่อเวลาเมื่อใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อเริ่มต้น 5%	4-35
ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป 16 วัน ของแบคทีเรียดีไนทริไฟอิงที่คัดแยกได้จากตะกอนดินใต้ทะเล เมื่อเลี้ยงในอาหารสูตร MSM ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็ว 160 รอบต่อนาที	4-38
ภาพที่ 4.13 ความสามารถในการละลายของ PAHs ทั้ง 4 ชนิดคือ Naphthalene, Phenanthrene, Pyrene และ Benzo[a]pyrene ที่ความเข้มข้น 200 ppm ในอาหารเลี้ยงเชื้อ	4-43

	หน้า
ภาพที่ 4.14	สภาพการละลายของ PAHs ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งคาร์บอนคือ Naphthalene ที่ความเข้มข้น 200 ppm เมื่อมีการลงเชื้อที่ความเข้มข้น 5% (ซ้าย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่เชื้อ (ขวา) เป็นเวลา 8 วัน ที่ 37 องศาเซลเซียส
ภาพที่ 4.15	สภาพการละลายของ PAHs ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งคาร์บอน คือ Phenanthrene ที่ความเข้มข้น 200 ppm เมื่อมีการลงเชื้อที่ความเข้มข้น 5% (ซ้าย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่เชื้อ (ขวา) เป็นเวลา 8 วัน ที่ 37 องศาเซลเซียส
ภาพที่ 4.16	สภาพการละลายของ PAHs ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งคาร์บอนคือ Pyrene ที่ความเข้มข้น 200 ppm เมื่อมีการลงเชื้อที่ความเข้มข้น 5% (ซ้าย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่เชื้อ (ขวา) เป็นเวลา 8 วัน ที่ 37 องศาเซลเซียส
ภาพที่ 4.17	สภาพการละลายของ PAHs ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งคาร์บอนคือ Benzo[a]pyrene ที่ความเข้มข้น 200 ppm เมื่อมีการลงเชื้อที่ความเข้มข้น 5% (ซ้าย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่เชื้อ (ขวา) เป็นเวลา 8 วัน ที่ 37 องศาเซลเซียส