การใช้วัสดุจากการเกษตรเร่งการย่อยสลายสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
โดยจุลินทรีย์ในดิน

นางสาว นารีรัตน์ เจริญช่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-17-0379-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF AGRICULTURAL MATERIALS TO ENHANCE MICROBIAL DEGRADATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SOIL

Miss Narirat Charoenchang

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Industrial Microbiology

Department of Microbiology
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0379-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้วัสดุจากการเกษตรเร่งการย่อยสลายสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยจุลินทรีย์ในดิน
โดย	นางสาว นารีรัตน์ เจริญช่าง
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจณา จันทองจีน

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รองคณบดีฝ่ายบริหาร
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ การเที่ยง) รักษาการแทนคณบดี
คณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจณา จันทองจีน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นารีรัตน์ เจริญช่าง : การใช้วัสดุจากการเกษตรเร่งการย่อสลายสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยจุลินทรีย์ในดิน (UTILIZATION OF AGRICULTURAL MATERIALS TO ENHANCE MICROBIAL DEGRADATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.กาญจนา จันทองจีน; 102 หน้า. ISBN 974-17-0379-1

ได้คัดเลือกวัสดุการเกษตรเพื่อใช้ในการทดลองได้แก่ ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี โดยบดและผสมลงในดินทรายที่ทำให้ปนเปื้อนด้วยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ความเข้มข้น 0.1 มก./ดิน 1 กรัม โดยชั่งดิน 1.8 กรัม ผสมวัสดุการเกษตร0.2 กรัม บรรจุลงในขวดแก้วฝาเกลียว ปรับความชื้นของดินผสมให้มีค่าเท่ากับ 60% ของความจุสูงสุดในการอุ้มน้ำ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30°ซ.ในที่มืด ทุกๆ 14 วัน นำตัวอย่าง 1 หลอดพร้อมหลอดควบคุมไปสกัด และวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดที่เหลืออยู่ด้วย HPLC พบว่าการเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีลงในดินทำให้สาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตรวจไม่พบฟีแนนทรีนในวันที่ 28 ส่วนฟลูออแรนธีน และไพรีนตรวจไม่พบในวันที่ 42 ของการทดลอง แต่พบว่าการเติมฟางข้าวลงในดินไม่สามารถเร่งสลายสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดได้ จึงได้เลือกใช้เปลือกถั่วและใบจามจุรีมาใช้ในการศึกษา และพบว่าปริมาณสาร PAHs จะลดลงอย่างชัดเจนในดินผสมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อเท่านั้น ขณะที่ปริมาณสาร PAHs ที่ลดลงในดิน ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ หรือใบจามจุรีปลอดเชื้อไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่วหรือใบจามจุรี เป็นผลทำให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs และเมื่อตรวจแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารฟีแนนทรีนที่เกิดขึ้นในชุดทดลองโดยนับจำนวนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ CFMM ที่พ่นทับด้วยสารละลายฟีแนนทรีน จะตรวจพบได้เฉพาะในดินที่เติมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีไม่ได้ฆ่าเชื้อเท่านั้น โดยจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณฟีแนนทรีนที่ลดลง ค่า bioavailability ของสาร PAHs ในดินผสมโดยใช้ค่า extractability โดยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนเมื่อทดลองผสมสาร PAHs ในเปลือกถั่ว และใบจามจุรี พบว่าสามารถสกัดสาร PAHs ออกจากใบจามจุรีได้มากกว่าเปลือกถั่ว และเมื่อผสมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีลงไปในดินที่ปนเปื้อน PAHs ในสภาวะควบคุมเดียวกัน จะสามารถสกัดสาร PAHs จากดินผสมใบจามจุรีได้มากกว่าดิน และดินผสมเปลือกถั่ว เมื่อนำเปลือกถั่วและใบจามจุรีไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ S.E.M. พบว่าเปลือกถั่วมีรูพรุนที่ซับซ้อนมากกว่า ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลการทดลองนี้

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272318823 : **MAJOR** INDUSTRAIL MICROBIOLOGY

KEY WORD : BIOREMEDIATION / POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS / SOIL

NARIRAT CHAROENCHANG : UTILIZATION OF AGRICULTURAL MATERIALS TO ENHANCE MICROBIAL DEGRADATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS. TRESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KANCHANA JUNTONGJIN, Ph. D. 102 pp. ISBN 974-17-0379-1

Agricultural materials (i.e., rice straw, peanut shell and rain tree leaves) selected for the experiments were ground into powder and individually mixed with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs : phenanthrene fluoranthene and pyrene) contaminated (0.1 mg/g of soil) sandy soil.Two grams of soil mixtures were put into screw cap vials with water content adjusted to 60 % of water holding capacity prior to the incubation at 30°C in the dark.Every 14 days of incubation, a tube from experimental set and the other one from sterile control were collected for quantification of remaining PAHs by HPLC. It was found that additions of peanut shell and rain tree leaves could facilitate disappearance of phenanthrene within 28 days, and 42 days for fluoranthrene and pyrene in the soil mixtures. No effect was found with rice straw addition until the end of experiment. The peanut shell and the rain tree leaves were used in further biostimulation study. Additions of non-sterile peanut shell or rain tree leaves to the contaminated soil showed significant decreasing of PAHs, whereas no reduction of PAHs was found in the samples of soil only and soil added with sterile peanut shell or sterile rain tree leaves. This result indicated the enhancing effects of biotic factors from peanut shell and rain tree leaves in PAHs degradation. Phenanthrene degrading bacteria were determined as representatives of PAHs degraders by detecting the colonies surrounded with clear zones on CFMM agar plates that were sprayed with phenanthrene solution. Numerous phenanthrene degrading bacteria were found in both non-sterile peanut shell and rain tree leaves soil mixtures. Bioavailability of PAHs in the soil mixtures indicated by dichloromethane extractability was observed, the amount of PAHs extracted from contaminated rain tree leaves was much higher than that from the contaminated peanut shell. Similar results were found with the extraction of the soil mixtures. Highly complicated micropores found on the surface of peanut shell powder under S.E.M. observation possibly be a cause.

Department Microbiology — Student's signature Narirat Charoenchang.

Field of study Industrial Microbiology — Advisor's signature Kanchana Juntongjin.

Academic year 2001 — Co-advisor's signature -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจณา จันทองจีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนกำลังใจที่ผู้วิจัยได้รับมาตลอดเวลาขณะศึกษาอยู่ที่นี่ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพาณิชการ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการในการสอบ และความช่วยเหลือต่างๆที่ผู้วิจัยได้รับมาตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน และ อาจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์ ที่กรุณารับเป็นคณะกรรมการในการสอบ และให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยาที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณทุนอุดหนุน และส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ทบวงมหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนสำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และความช่วยเหลือตลอดจนกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญรูป.....ญ

บทที่

1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....4
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....24
4. ผลการทดลอง.....36
5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....80
6. ข้อเนอแนะในการวิจัย.....87

รายการอ้างอิง.....88

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....94
ภาคผนวก ข.....97
ภาคผนวก ค.....98

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างเคมี และสมบัติทางกายภาพ ของสารประกอบ PAHs 4

2.2 สภาวะของสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดินโดยวิธีบำบัดทางชีวภาพ.....14

2.3 การบำบัดสาร PAHs ในดินให้มีประสิทธิภาพ.....15

2.4 ปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในดิน.....18

4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง.....36

4.2 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี.....37

4.3 แสดงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน 54

4.4 แสดงจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs ที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆ ของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน 56

4.5 แสดงจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน 59

4.6 แสดงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0 - 42 วัน.....62

4.7 แสดงจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs ที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน.....64

4.8 แสดงจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน.....67

4.9 เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ที่สกัดได้จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และใบจามจุรีปลอดเชื้อ ที่ทำให้ปนเปื้อน แล้วนำมาสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน ตั้งแต่วันที่ 0, 20, 40, 60 และ 80 วัน.....71

4.10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ที่สกัดได้ด้วยไดคลอโรมีเทน ในชุดการทดลองปลอดเชื้อ ได้แก่ ดิน ดินผสมเปลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี โดยการผสมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีลงในดินทันที ตั้งแต่วันแรกที่ทำให้ดินปนเปื้อน PAHs แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 60 วัน.....73

ค. 1 ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่สกัดได้ด้วยไดคลอโรมีเทน จากชุดการทดลองต่างๆ ในวันที่ 0 ของการทดลองในการศึกษาการดูดซับสาร PAHs ในดินของเปลือกถั่ว และใบจามจุรีในสภาวะปลอดเชื้อ.....101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของสารประกอบ PAHs ที่ย่อยสลายได้รวดเร็ว (ก) และมีความทนทานต่อการย่อยสลาย (ข) ในสิ่งแวดล้อม.....5

2.2 โครงสร้างโมเลกุลของฟีแนนทรีน.....7

2.3 โครงสร้างโมเลกุลของฟลูออแรนธีน.....8

2.4 โครงสร้างโมเลกุลของไพรีน.....9

2.5 วิถีการย่อยสลาย PAHs โดยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ.....10

2.6 รูปแบบสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในดิน แสดงความแตกต่างทางฟิสิกส์-เคมี ของสารเมื่ออยู่ร่วมกับอนุภาคดิน.....20

3.1 แสดงวัสดุการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี.....28

4.1 ปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ที่เหลืออยู่ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในดินที่ทดสอบการย่อยสลายสาร PAHs โดยเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs หลังจากการบ่มไว้ในดินปลอดเชื้อ ดินไม่ปลอดเชื้อ ดินผสมฟางข้าว หรือผสมเปลือกถั่ว หรือผสมใบจามจุรี.....39

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ในชุดการทดลองต่างๆ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลงเมื่อผสมเปลือกถั่วในดิน โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่.....41

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนเมื่อมีสิ่งมีชีวิต และไม่มีสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเปรียบเทียบระหว่างดินปลอดเชื้อ กับดินไม่ปลอดเชื้อ.....42

4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน เมื่อเติมสารอินทรีย์จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อโดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 3) กับ ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5).....43

4.5 ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลง เป็นเปอร์เซนต์ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่ว โดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) กับดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 3).....44

4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อมีปัจจัยชีวภาพจากเปลือกถั่ว เมื่อผสมเปลือกถั่วที่ไม่ปลอดเชื้อ ลงในดินปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 4) และดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 6) ขณะที่การผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อลงในดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5) ปริมาณสาร PAHs จะลดลงเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3).....45

4.7 แสดงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซนต์ ในดินปลอดเชื้อ และเปลือกถั่วปลอดเชื้อผสมดินปลอดเชื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs จากปัจจัยทางกายภาพ และเป็นการแสดงว่าสารอินทรีย์จากเปลือกถั่วไม่มีบทบาทในการลดปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดิน.....46

4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ในชุดการทดลองต่างๆ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลงเมื่อผสมใบจามจุรีในดิน โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่.....48

4.9 ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเติมสาร อินทรีย์จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อโดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 3) กับ ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5).....49

4.10 ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลง (%) เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่วโดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี(ชุดการทดลองที่ 4) กับดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 3).....50

4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีนและไพรีนที่ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อมีปัจจัยชีวภาพจากใบจามจุรี เมื่อผสมใบจามจุรีที่ไม่ปลอดเชื้อ ลงในดินปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 4) และดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 6) ขณะที่การผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อลงในดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5) ปริมาณสาร PAHs จะลดลงเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3).....51

4.12 แสดงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซ็นต์ ในดินปลอดเชื้อ และใบจามจุรีปลอดเชื้อผสมดินปลอดเชื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs จากปัจจัยทางกายภาพ และเป็นการแสดงว่าสารอินทรีย์จากใบจามจุรีไม่มีบทบาทในการลดปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดิน.....52

4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในชุดการทดลองต่างๆ ในการศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของเปลือกถั่ว ซึ่งประกอบด้วย ดิน ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดินผสมเปลือกถั่ว ในช่วงระยะเวลา 42 วัน.....55

4.14 แสดงลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารฟีแนนทรีน ซึ่งสร้างบริเวณใสรอบโคโลนีบนอาหารแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วย ฟีแนนทรีน โดยแยกได้จากชุดการทดลอง ดินผสมเปลือกถั่ว (ก) และ ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ข).....57

4.15 ปริมาณสารฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนได้ ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ ผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) และดินผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 6).....58

4.16 การเปลี่ยนแปลงจำนวนราในชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาการเร่ง การสลายสาร PAHs ของเปลือกถั่ว (ดิน ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดินผสมเปลือกถั่ว) ในช่วงระยะเวลา 42 วัน.....60

4.17 แสดงการลดลงของฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินผสมเปลือกถั่ว(ชุดการทดลองที่ 6) และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด รวมทั้งจำนวนรา.....61

4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในชุดทดลองต่างๆ ที่ศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของใบจามจุรี ซึ่งประกอบด้วย ดิน ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดินผสมใบจามจุรี ในช่วงระยะเวลา 42 วัน.....63

4.19 แสดงลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งสร้างบริเวณใส รอบโคโลนีบนอาหารแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วย ฟีแนนทรีน โดยแยกได้จาก ชุดการทดลอง ดินผสมใบจามจุรี (ก) และ ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ข).....65

4.20 ปริมาณฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนได้ ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ ผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4) และดินผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 6).....66

4.21 การเปลี่ยนแปลงจำนวนราในชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาการเร่ง การสลายสาร PAHs ของใบจามจุรี (ดิน ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมจามจุรีปลอดเชื้อ และดินผสมใบจามจุรี) ในช่วงระยะเวลา 42 วัน.....68

4.22 แสดงการลดลงของฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินผสมใบจามจุรี(ชุดการทดลองที่ 6) และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด รวมทั้งจำนวนรา.....69
4.23 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่สกัดได้จากดิน ดินผสมเปลือกถั่วและดินผสมใบจามจุรี เมื่อนำดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs เป็นเวลานาน 20, 40,60 และ 80 วัน มาเติมเปลือกถั่ว และใบจามจุรี.....74
4.24 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่สกัดได้ด้วย ไดคลอโรมีเทน จากดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs มาเป็นเวลา 20, 40, 60 และ 80 วัน นำมาเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรี แล้วบ่มเก็บไว้อีก 60 วัน.....75
4.25 แสดงลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....76
4.26 แสดงลักษณะพื้นผิวของใบจามจุรีภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....77
4.27 แสดงลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....78
4.28 แสดงลักษณะพื้นผิวของใบจามจุรีภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....79
ค. 1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณฟีแนนทรีนกับพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยวิธี HPLC.....98
ค. 2 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณฟลูออแรนธีนกับพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC.....99
ค. 3 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณไพรีนกับพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยวิธี HPLC.....100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย