การใช้กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ตรึงบนวัสดุทางการเกษตรเพื่อบำบัดดิน
ปนเปื้อนไพรีนและฟีแนนทรีน

นางสาวณัฐธิดา สุปัญญากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 9 7 2 5 9 8 8 2 3

UTILIZATION OF BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3 IMMOBILISED ON AGRICULTURAL MATERIALS FOR REMEDIATION OF PYRENE AND PHENANTHRENE CONTAMINATED SOIL

Miss Natthida Supanyakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Master of Science Program in Industrial Microbiology

Department of Microbiology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ตรึงบนวัสดุทางการเกษตร เพื่อบำบัดดินปนเปื้อนไพรีนและฟีแนนทรีน
โดย	นางสาวณัฐธิดา สุปัญญากร
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจณา จันทองจีน)

ณัฐธิดา สุปัญญากร : การใช้กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ตรึงบนวัสดุทางการเกษตรเพื่อบำบัดดินปนเปื้อนไพรีนและฟีแนนทรีน (UTILIZATION OF BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3 IMMOBILISED ON AGRICULTURAL MATERIALS FOR REMEDIATION OF PYRENE AND PHENANTHRENE CONTAMINATED SOIL) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์, 103 หน้า.

ได้ตรึงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 บนใบจามจุรี ฟางข้าว ใยบวบและนมผักกระเฉด หลังจากบ่มที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจากประมาณ 8 log CFU/กรัม จนสูงสุดที่ประมาณ 10.6 log CFU/กรัม ในทุกวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อ การวิเคราะห์ DGGE และภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของเซลล์แบคทีเรียที่ยึดติดกับวัสดุ เซลล์ตรึงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และเซลล์อิสระสามารถย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนที่ความเข้มข้นชนิดละ 0.05 กรัม/ลิตร ได้อย่างรวดเร็วมากกว่า 90% ภายในหนึ่งวันในอาหารปลอดคาร์บอน PAHs ทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกันยังถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ภายใน 3 วันโดย กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรีในดินที่ไม่เคยมีการปนเปื้อน PAHs ในขณะที่การเกิดออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์โดยใช้เซลล์อิสระต้องใช้เวลา 21 วัน อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นของไพรีน/ฟีแนนทรีน (ชนิดละ 0.05 กรัม/กรัมดิน) เซลล์ตรึงบนใบจามจุรีมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเซลล์อิสระในการย่อยสลาย PAHs ในดินที่ปนเปื้อนปิโตรเลียมเป็นเวลานาน ยิ่งไปกว่านั้น การกระตุ้นจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วทางชีวภาพโดยการเติมเพียงใบจามจุรีปลอดเชื้อลงในดินที่ปนเปื้อนปิโตรเลียมเป็นเวลานานสามารถเสริมการลดลงของ PAHs ทั้งสองชนิดได้

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต ณัฐธิดา สุปัญญากร

สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

4972598823 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY
KEY WORD: DEGRADATION/ PYRENE/ PHENANTHRENE/ IMMOBILIZATION/ SOIL/ BACTERIAL CONSORTIUM

NATTHIDA SUPANYAKORN: UTILIZATION OF BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3 IMMOBILISED ON AGRICULTURAL MATERIALS FOR REMEDIATION OF PYRENE AND PHENANTHRENE CONTAMINATED SOIL. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KOBCHAI PATTARAGULWANIT, Dr. rer. nat., 103 pp.

Bacterial consortium RRM-V3 was immobilized on rain tree leaves, rice straw, loofa sponge and water mimosa sponge. After 3 days of incubation at 30°C, bacterial numbers raised from about 8 log CFU/gram to the maximum about 10.6 log CFU/gram in all sterile agricultural materials. DGGE analysis and scanning electron micrographs showed the increase of bacterial cells attached to materials. Immobilized RRM-V3 cells as well as free cells were able to rapidly degrade pyrene and phenanthrene at the concentration of each 0.05 gram/liter in carbon free liquid medium for more than 90% within one day. Both PAHs at the same concentration were also completely oxidized within 3 day by rain tree leaves-immobilized RRM-V3 in non-PAHs contaminated soil whereas the complete oxidation by free cells needed 21 days. At the higher concentration of pyrene/phenanthrene (each o.5 gram/gram soil), however, rain tree leaves-immobilized cells were less efficient in PAHs degradation than those of free cells in aged petroleum contaminated soil. Moreover, biostimulation of indigenous microorganisms by addition of only sterile rain tree leaves into aged petroleum contaminated soil could enhance the depletion of both PAHs.

Department : Microbiology Student's Signature Natthida Supanyakorn
Field of Study : Industrial Microbiology Advisor's Signature K. Pattaragulwanit
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านอื่นๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกวัล ลือพร้อมชัย และรองศาสตราจารย์ ดร.กาญจณา จันทองจีน เป็นอย่างสูงที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตรายและหน่วยปฏิบัติการวิจัยการบำบัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยชีววิธี ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา ที่กรุณาให้ความรู้และ คำแนะนำต่างๆแก่ผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆและพี่ๆน้องๆทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือในหลายๆด้าน ตลอดจนความห่วงใยและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจในการศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูปภาพ..... ฎ

สัญลักษณ์และคำย่อ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม..... 5

2.1 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน..... 5

2.2 ฟีแนนทรีน..... 7

2.3 ไพรีน..... 8

2.4 แหล่งกำเนิดและการปนเปื้อนของ PAHs ในดิน..... 9

2.5 การบำบัด PAHs ในสิ่งแวดล้อม..... 11

2.6 การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ..... 12

2.7 การย่อยสลายสารประกอบ PAHs โดยแบคทีเรีย..... 17

2.8 กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3..... 18

บทที่ 3 อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินการวิจัย..... 20

อุปกรณ์ในการทดลอง..... 20

เคมีภัณฑ์..... 22

แผนผังงานวิจัย..... 24

วิธีดำเนินงานวิจัย. 25

3.1 การเพาะเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3..... 25

3.1.1 จุลินทรีย์..... 25

3.1.2 การเพาะเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3..... 25

หน้า

3.2 การเตรียมวัสดุทางการเกษตรและดิน..... 25
3.2.1 วัสดุทางการเกษตร..... 25
3.2.2 การเตรียมวัสดุทางการเกษตร..... 26
3.2.3 การเตรียมดิน..... 26
3.3 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของวัสดุทางการเกษตรและดิน..... 26
3.4 การเตรียมกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร..... 26
3.5 วิเคราะห์เซลล์กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน..... 27
3.6 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร..... 27
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณไพรีนและฟีแนนทรีน..... 28
3.7.1 การสกัดไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM..... 28
3.7.2 การสกัดไพรีนและฟีแนนทรีนในดิน..... 28
3.7.3 การวิเคราะห์สาร PAHs โดยโครมาโตกราฟี 29
3.8 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในดิน..... 29
3.9 ประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในดิน..... 30
3.10 การตรวจหาปริมาณกลุ่มแบคทีเรียด้วยวิธี Viable plate count..... 31
3.11 ติดตามพลวัตรของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในช่วงเวลาการบำบัดด้วยวิธี DGGE..... 31
3.11.1 สกัดจีโนมิกดีเอ็นเอของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3..... 31
3.11.2 สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดินและวัสดุทางการเกษตร..... 32
3.11.3 การกำจัด Humic acid และตรวจสอบความสมบูรณ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธี Gel electrophoresis..... 33
3.11.4 การทำดีเอ็นเอให้บริสุทธิ์..... 33
3.11.5 วิเคราะห์ความเข้มข้นของดีเอ็นเอ..... 34
3.11.6 เพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส 34
3.11.7 วิเคราะห์ Denaturing Gradient Gel Electrophoresis..... 35

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 37
4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของใบจามจุรีและดิน ที่ใช้ในการทดลอง..... 37
4.2 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในอาหารเหลว CFMM..... 38
4.3 การเตรียมกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนวัสดุทางการเกษตร..... 40
4.3.1. การตรวจสอบแบคทีเรียที่เจริญในวัสดุทางการเกษตรโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.(SEM)..... 42
4.3.2 การติดตามพลวัตรประชากรกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนวัสดุทางการเกษตร..... 44
4.4 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนวัสดุทางการเกษตรในอาหารเหลว CFMM..... 46
4.6 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดิน..... 48
4.6 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัมดิน ในดินสวน.. 49
4.6.1 การสลายตัวของไพรีนและฟีแนนทรีนในดินสวนโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนในใบจามจุรี..... 50
4.6.1.1 การติดตามพลวัตรประชากรกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในช่วงเวลาของการบำบัดสาร PAHs ในดินด้วยวิธี DGGE..... 53
4.6.2 การสลายตัวของไพรีนและฟีแนนทรีนในดินสวนโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนฟางข้าว..... 54
4.6.3 การสลายตัวของไพรีนและฟีแนนทรีนในดินสวนโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในใยบวบ..... 57
4.6.4 การสลายตัวของไพรีนและฟีแนนทรีนในดินสวนโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในนมผักกระเฉด..... 59
4.7 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.5 มก./กรัม ในดินชนิดต่างๆ โดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี..... 64
4.7.1 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.5 มก./กรัม ในดินสวนโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี..... 65

หน้า

4.7.2 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.5 มก./กรัม ในดินอู่ซ่อมรถโดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี.... 68
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 71
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย..... 80
รายการอ้างอิง..... 81
ภาคผนวก..... 91
ภาคผนวก ก..... 92
ภาคผนวก ข 94
ภาคผนวก ค..... 101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของฟีแนนทรีน	7
2.2	สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของไพรีน.....	8
4.1	ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตร.....	37
4.2	ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดิน.....	48
4.3ก	สรุปการลดลงของปริมาณไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนในชุดควบคุมต่างๆ.....	61
4.3ข	สรุปการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวน โดยใช้หัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ.....	62
4.3ค	เปรียบเทียบการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยการเติมวัสดุทางเกษตรปลอดเชื้อและวัสดุทางการเกษตรที่มีกลุ่ม แบคทีเรีย RRM-V3 เจริญอยู่.....	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบ PAHs ทั้ง 16 ชนิด.....	6
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของฟีแนนทรีน..	7
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของไพรีน	8
2.4	กระบวนการสลายตัวต่างๆของสารประกอบ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม.....	12
4.1	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3	39
4.2	จำนวนกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร.....	41
4.3	ลักษณะการเจริญของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี ฟางข้าว ใยบวบและนมผักกระเฉดปลอดเชื้อภายใต้กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	43
4.4	พลวัตรประชากรแบคทีเรียในใบจามจุรี ฟางข้าว ใยบวบและนมผักกระเฉดปลอดเชื้อที่เวลาต่างๆโดยวิธี DGGE	45
4.5	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับใบจามจุรี ฟางข้าว ใยบวบ และนมผักกระเฉด.....	47
4.6	ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี.....	52
4.7	พลวัตรประชากรของแบคทีเรียระหว่างการบำบัดไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี.....	54
4.8	ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนฟางข้าว.....	56
4.9	ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใยบวบ.....	58

ภาพที่ หน้า

4.10 ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.05 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนนมผักกระเฉด..... 60

4.11 ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.5 มก./กรัม ในดินสวนโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี..... 67

4.12 ปริมาณไพรีน และฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PAHs ระหว่างการย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีนความเข้มข้น 0.5 มก./กรัม ในดินอู่ซ่อมรถโดยหัวเชื้อกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ตรึงบนใบจามจุรี..... 70

คำอธิบายลักษณะคำย่อ

มก. = มิลลิกรัม

มล. = มิลลิลิตร

% = เปอร์เซ็นต์

CFU = colony forming unit