

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247781

ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยละลายโพรีนและทีแนนทรินโดยกลุ่มแบคทีเรีย DSM-V3

นางสาวสุธาวัลย์ ภัทรวัณศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00252389

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247781

ผลของวัสดุทางการแพทย์ในการช่วยสลายไฟรลินและพีแนนทรีนโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3



นางสาวสุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 7 7 2 5 2 8 7 2 3

EFFECTS OF AGRICULTURAL MATERIALS IN FACILITATING PYRENE AND
PHENANTHRENE DEGRADATION BY BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3

Miss Suthawan Deesawad

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

Department of Microbiology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

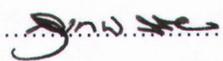
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยสลายไพรีนและพีแนนทรินโดย
	กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3
โดย	นางสาวสุธาวลัย ดีสวัสดิ์
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทองจิ้น

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนีย์วัน)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทองจิ้น)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย)

สุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์ : ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยสลายไพรีนและฟีนแอนทรีนโดย
 กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 (EFFECTS OF AGRICULTURAL MATERIALS IN
 FACILITATING PYRENE AND PHENANTHRENE DEGRADATION BY BACTERIAL
 CONSORTIUM RRM-V3) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์, อ. ที่ปรึกษา
 ร่วม : รศ.ดร.กาญจนา จันทร์ทองเงิน, 109 หน้า.

247781

กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 สามารถย่อยสลายไพรีนและฟีนแอนทรีนอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อ
 ปลูกกลุ่มแบคทีเรียโดยตรงลงในดินไม่ปลอดเชื้อที่ปนเปื้อนสารประกอบ PAHs กลุ่มแบคทีเรียจะ
 ตายและสูญเสียความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบ PAHs ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะ
 ใช้ฟางข้าว โยบวบและนมผักกระเฉด เป็นตัวพาเพื่อเตรียมกล้าเชื้อ RRM-V3 ปลูกกลุ่มแบคทีเรีย
 RRM-V3 ที่ 10^8 CFU ในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อและบ่มที่ 30°C หลังจาก
 3 วัน ได้จำนวนแบคทีเรียสูงที่สุด ซึ่งจำนวนแบคทีเรียที่เจริญในนมผักกระเฉดมีค่าสูงที่สุด ใช้
 RRM-V3 ที่เจริญในแต่ละวัสดุเป็นเวลา 3 วัน เพื่อเป็นกล้าเชื้อสำหรับการย่อยสลายไพรีนและ
 ฟีนแอนทรีนในอาหารเหลว CFMM ที่ความเข้มข้นสุดท้ายชนิดละ 0.05 และ 0.5 มก./มล. ไพรีน
 และฟีนแอนทรีนถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดย RRM-V3 ที่เจริญในวัสดุปลอดเชื้อชนิดต่างๆ จนถึง
 ระดับที่ไม่สามารถตรวจหาได้โดย GC-FID ภายใน 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ในขณะที่จำนวน
 เซลล์แบคทีเรียคงเหลือ $10.5-11 \log \text{CFU/กรัมวัสดุ}$ และ $10-10.5 \log \text{CFU/กรัมวัสดุ}$ ที่วันที่ 35
 ตามลำดับ และเมื่อใช้วัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ ไพรีนและฟีนแอนทรีนถูกย่อยสลายโดย
 แบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและ RRM-V3 ที่เติมลงไปภายใน 7 และ 28 วัน ตามลำดับ
 ในขณะที่จำนวนเซลล์แบคทีเรียคงเหลือ $10-10.5 \log \text{CFU/กรัมวัสดุ}$ และ $10.5-11.5 \log \text{CFU/}$
 กรัมวัสดุ ที่วันที่ 35 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ DGGE แสดงให้เห็นพลวัตประชากรหลักของ
 กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 โดยแถบที่เข้มที่สุดของ RRM-V3 ปรากฏขึ้นสอดคล้องกับจำนวนเซลล์สูง
 ที่สุดและการหมดไปของสารประกอบ PAHs โดยสรุปการเตรียมกล้าเชื้อ RRM-V3 ในวัสดุทาง
 การเกษตรทั้ง 3 ชนิด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายไพรีนและฟีนแอนทรีนและการรอดชีวิต
 ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3

ภาควิชา.....จุลชีววิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....สุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์.....
 สาขาวิชา.....จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม.....ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2550.....ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772528723 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD: bacterial consortium/ degradation/ pyrene/ phenanthrene/ rice straw/ loofa sponge/ water minosa sponge/ DGGE

SUTHAWAN DEESAWAD : EFFECTS OF AGRICULTURAL MATERIALS IN FACILITATING PYRENE AND PHENANTHRENE DEGRADATION BY BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KOBCHAI PATTARAGULWANIT, Dr. rer. nat., THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. KANCHANA JUNTONGJIN, Ph. D., 109 pp.

247781

Bacterial consortium RRM-V3 can efficiently degrade pyrene and phenanthrene. Upon inoculation of this consortium directly into non sterile PAHs-contaminated soil, RRM-V3 lost PAHs degrading activity and finally died. Therefore, this research aimed to use rice straw, loofa sponge and water minosa sponge as carriers to prepare RRM-V3 inoculum. The RRM-V3 consortium was inoculated at 10⁸ CFU in sterile and non sterile agricultural materials and incubated at 30°C. After 3 days, maximum bacterial cell numbers in all materials reached, with water minosa sponge was the highest. The RRM-V3 cultured in respective materials for 3 days were used as inoculum for degradation of pyrene and phenanthrene at the final concentration of 0.05 and 0.5 mg/ml for each in liquid carbon free mineral medium (CFMM). The results revealed that pyrene and phenanthrene were rapidly degraded by RRM-V3 prepared in any type of sterile materials to undetectable level by GC-FID within 14 and 21 days, respectively whereas the bacterial cell count remained 10.5-11 log CFU/g material and 10-10.5 log CFU/g material respectively after 35 days. For non sterile agricultural materials, pyrene and phenanthrene were degraded by RRM-V3 prepared in agricultural materials within 7 and 28 days, respectively whereas the bacterial cell count were at 10-10.5 log CFU/g material and 10.5-11.5 log CFU/g material respectively after 35 days. DGGE analysis of DNA fragments of 16S rDNA revealed the dynamic of dominant RRM-V3 consortium population. The most intense band of RRM-V3 were found correspond to the highest cell numbers and the disappearance of PAHs. In conclusion, preparation of RRM-V3 inoculum in all three agricultural materials improved pyrene and phenanthrene degradation and the survival of RRM-V3 consortium.

Department.....Microbiology.....Student's signature...*Suthawan Deesawad*
Field of study.....Industrial Microbiology.....Advisor's signature...*K. Pattaragulwanit*
Academic year.....2007.....Co-advisor's signature...*Kanchana Juntongjin*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา จันทองจีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆทุกขั้นตอน ตลอดจนตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธานีวัน ที่กรุณารับเป็นประธาน กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ และอาจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ต่างๆ แก่ผู้วิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เอกวัล ลือพร้อมชัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการ สักตสารตัวอย่าง และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำ ต่างๆ แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอบคุณ คุณรุจา สารคุณ คุณสิริภัทร พฤกษ์ไพบูลย์ คุณโสธรจยา แวศักดิ์ สำหรับ คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอขอบคุณ คุณเสาวลักษณ์ อ้นเมฆ คุณ วิธิญญา ชวเจริญพันธ์ คุณสุขุมาล ปานศรี คุณวชิรศักดิ์ วังกังวาน คุณกานต์รวี แก้วขาว รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน สำหรับทุกความ ห่วงใย ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณป้า และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ความช่วยเหลือ รวมทั้งให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฏ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฑ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	5
สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	5
แหล่งกำเนิดและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม.....	7
ไพรีน (Pyrene).....	7
ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene).....	8
การสลายตัวและการบำบัดสารประกอบ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	9
การสลายตัวทางกายภาพ.....	9
การบำบัดทางเคมี.....	11
การบำบัดทางชีวภาพ.....	11
การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation).....	12
การย่อยสลายสารประกอบ PAHs โดยจุลินทรีย์.....	18
การย่อยสลายไพรีนและฟีนแอนทรีนโดยแบคทีเรีย.....	19
กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และการบำบัดดินปนเปื้อนไพรีน/ฟีนแอนทรีน.....	21
3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินการวิจัย	23
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	23
เคมีภัณฑ์และชุดทดสอบสำเร็จ.....	25
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 แบคทีเรีย.....	27
3.2 โอลิโกนิวคลีโอไทด์ไพเรเมอร์.....	27

บทที่	หน้า
3.3 เตรียมวัสดุทางการเกษตร.....	27
3.3.1 วัสดุทางการเกษตร.....	27
3.3.2 การเตรียมวัสดุทางการเกษตรเพื่อวิเคราะห์และใช้ในงานวิจัย.....	28
3.3.3 การวิเคราะห์วัสดุทางการเกษตร.....	28
3.4 เตรียมกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ใน Carbon Free Mineral Medium (CFMM).....	29
3.5 ตรวจสอบการรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร.....	29
3.5.1 การเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด	29
3.5.2 วัดการเจริญของแบคทีเรียด้วยวิธี viable plate count.....	30
3.6 ความสามารถในการย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร.....	31
3.6.1 การเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรียที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตรในอาหารเหลว CFMM ที่มีไพลินและพีแนนทริน.....	31
3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณไพลินและพีแนนทริน.....	32
3.7 ติดตามพลวัตประชากรแบคทีเรียโดย Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE).....	33
3.7.1 สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างวัสดุทางการเกษตร.....	33
3.7.2 สกัดจีโนมิกดีเอ็นเอของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3.....	34
3.7.3 การทำดีเอ็นเอที่สกัดได้ให้บริสุทธิ์.....	35
3.7.4 ตรวจสอบความเข้มข้นของดีเอ็นเอ.....	36
3.7.5 เพิ่มจำนวนชิ้นส่วนดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส (Polymerase Chain Reaction, PCR).....	36
3.7.6 วิเคราะห์ Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)....	37
4. ผลการทดลอง	39
4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	39
4.2 ความสามารถในการดูดซับไพลินและพีแนนทรินของวัสดุทางการเกษตร....	40
4.3 ความสามารถในการย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในอาหารเหลว CFMM.....	42

บทที่	หน้า
4.4 การรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร.....	43
4.4.1 จำนวนกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ ปลอดเชื้อ.....	44
4.4.2 จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไปวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อ.....	45
4.4.3 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อ.....	47
4.5 ความสามารถในการย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร.....	49
4.5.1 การย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM.....	49
4.5.2 การย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM....	53
4.6 ความสามารถในการย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินที่ความเข้มข้นรวม 1.0 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร..	59
4.6.1 การย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM.....	59
4.6.2 การย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM....	63
4.6.3 การย่อยสลายไพลินและพีแนนทรินที่ความเข้มข้นสุดท้ายรวม 1.0 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในอาหารเหลว CFMM.....	69
4.7 ผลการติดตามพลวัตประชากรแบคทีเรียโดย Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE).....	72
4.7.1 พลวัตประชากรกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในวัสดุทางการเกษตรที่ ไม่ปลอดเชื้อและพลวัตประชากรแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตร ที่ไม่ปลอดเชื้อเมื่อเลี้ยงในอาหารเหลว CFMM.....	73
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	78
6. ข้อเสนอแนะของงานวิจัย	85
รายการอ้างอิง	86
ภาคผนวก	99

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ก	100
ภาคผนวก ข	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตรได้แก่ ฟางข้าว ไยบวบและนมฝักกระเจต.....	39
4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายไพรีนที่ความเข้มข้นสุดท้าย 0.5 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ.....	71
4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายพีแนนทรินที่ความเข้มข้นสุดท้าย 0.5 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบ PAHs ทั้ง 16 ชนิด (Wilson และ Jones, 1993).....	6
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของไพรีน (Boonchan,1998).....	7
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของพีแนนทรีน (Chang และคณะ, 2002).....	8
2.4 กระบวนการสลายตัวต่างๆของสารประกอบ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม (Cerniglia และ Heitkamp, 1989).....	12
3.1 วัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ฟางข้าว โยบวบ และนมฝักกระเฉดที่บดและผ่านการคัดกรองแล้ว.....	28
3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM ที่มีไพรีนและพีแนนทรีนความเข้มข้นสุดท้ายชนิดละ 0.05 มก./มล. เมื่อเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 เป็นเวลา 3 วัน เปรียบเทียบกับที่เวลา 0 วัน.....	29
4.1 การดูดซับไพรีนและพีแนนทรีนของฟางข้าวในอาหารเหลว CFMM.....	41
4.2 การดูดซับไพรีนและพีแนนทรีนของโยบวบในอาหารเหลว CFMM.....	41
4.3 การดูดซับไพรีนและพีแนนทรีนของนมฝักกระเฉดในอาหารเหลว CFMM.....	42
4.4 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3.....	43
4.5 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อ.....	45
4.6 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไปทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ.....	46
4.7 จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อที่ย่อยสลายไพรีนพีแนนทรีน	47
4.8 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ.....	48
4.9 จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อที่ย่อยสลายไพรีนพีแนนทรีน.....	49
4.10 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในฟางข้าวปลอดเชื้อ.....	51
4.11 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในโยบวบปลอดเชื้อ.....	52
4.12 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในนมฝักกระเฉดปลอดเชื้อ.....	53

รูปที่	หน้า
4.13 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในฟางข้าวและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ.....	55
4.14 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในโยบวบและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในโยบวบที่ไม่ปลอดเชื้อ.....	57
4.15 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในนมผักกระเฉดและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ.....	58
4.16 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในฟางข้าวปลอดเชื้อ.....	61
4.17 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในโยบวบปลอดเชื้อ.....	62
4.18 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในนมผักกระเฉดปลอดเชื้อ.....	63
4.19 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในฟางข้าวและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ.....	65
4.20 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในโยบวบและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในโยบวบไม่ปลอดเชื้อ.....	67
4.21 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในนมผักกระเฉดและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ.....	68
4.22 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3.....	70
4.23 พลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM..	74
4.24 พลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในโยบวบไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในโยบวบไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM...	76
4.25 พลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตร์ประชากรแบคทีเรียในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM.....	77

สัญลักษณ์และคำย่อ

°ซ = องศาเซลเซียส

% = เปอร์เซ็นต์

มก. = มิลลิกรัม

มล. = มิลลิลิตร

มม. = มิลลิเมตร

ซม. = เซนติเมตร

ชม. = ชั่วโมง

กก. = กิโลกรัม

bp = base pairs