ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3

นางสาวสุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

502102

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3
โดย	นางสาวสุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจณา จันทองจีน

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจณา จันทองจีน)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย)

สุธาวัลย์ ดีสวัสดิ์ : ผลของวัสดุทางการเกษตรในการช่วยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 (EFFECTS OF AGRICULTURAL MATERIALS IN FACILITATING PYRENE AND PHENANTHRENE DEGRADATION BY BACTERIAL CONSORTIUM RRM-V3) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.กาญจณา จันทองจีน, 109 หน้า.

กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 สามารถย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อปลูกกลุ่มแบคทีเรียโดยตรงลงในดินไม่ปลอดเชื้อที่ปนเปื้อนสารประกอบ PAHs กลุ่มแบคทีเรียจะตายและสูญเสียความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบ PAHs ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะใช้ฟางข้าว ใยบวบและนมผักกระเฉด เป็นตัวพาเพื่อเตรียมกล้าเชื้อ RRM-V3 ปลูกกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ 10^8 CFU ในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อและบ่มที่ 30°ซ หลังจาก 3 วัน ได้จำนวนแบคทีเรียสูงที่สุด ซึ่งจำนวนแบคทีเรียที่เจริญในนมผักกระเฉดมีค่าสูงที่สุด ใช้ RRM-V3 ที่เจริญในแต่ละวัสดุเป็นเวลา 3 วัน เพื่อเป็นกล้าเชื้อสำหรับการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM ที่ความเข้มข้นสุดท้ายชนิดละ 0.05 และ 0.5 มก./มล. ไพรีนและฟีแนนทรีนถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดย RRM-V3 ที่เจริญในวัสดุปลอดเชื้อชนิดต่างๆ จนถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจหาได้โดย GC-FID ภายใน 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนเซลล์แบคทีเรียคงเหลือ 10.5-11 log CFU/กรัมวัสดุ และ 10-10.5 log CFU/กรัมวัสดุ ที่วันที่ 35 ตามลำดับ และเมื่อใช้วัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ ไพรีนและฟีแนนทรีนถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและ RRM-V3 ที่เติมลงไปภายใน 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนเซลล์แบคทีเรียคงเหลือ 10-10.5 log CFU/กรัมวัสดุ และ 10.5-11.5 log CFU/กรัมวัสดุ ที่วันที่ 35 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ DGGE แสดงให้เห็นพลวัตรประชากรหลักของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 โดยแถบที่เข้มที่สุดของ RRM-V3 ปรากฏขึ้นสอดคล้องกับจำนวนเซลล์สูงที่สุดและการหมดไปของสารประกอบ PAHs โดยสรุปการเตรียมกล้าเชื้อ RRM-V3 ในวัสดุทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนและการรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย 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.

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 10^8 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.กาญจณา จันทองจีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆทุกขั้นตอน ตลอดจนตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ และอาจารย์ ดร.เอกวัล ลือพร้อมชัย ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เอกวัล ลือพร้อมชัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการสกัดสารตัวอย่าง และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอบคุณ คุณรุจา สารคุณ คุณสิริภัทร พฤกษ์ไพบูลย์ คุณโสรจยา แวงศักดิ์ สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอบคุณ คุณเสาวลักษณ์ อ้นเมฆ คุณวิธัญญา ชวเจริญพันธ์ คุณสุขุมาล ปานศรี คุณวชิรศักดิ์ วังกังวาน คุณกานต์รวี แก้วขาว รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน สำหรับทุกความห่วงใย ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณป้า และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนความช่วยเหลือ รวมทั้งให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฎ

สัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 5

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน..... 5

แหล่งกำเนิดและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม..... 7

ไพรีน (Pyrene)..... 7

ฟีแนนทรีน (Phenanthrene)..... 8

การสลายตัวและการบำบัดสารประกอบ PAHs ในสิ่งแวดล้อม..... 9

การสลายตัวทางกายภาพ..... 9

การบำบัดทางเคมี..... 11

การบำบัดทางชีวภาพ..... 11

การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation)..... 12

การย่อยสลายสารประกอบ PAHs โดยจุลินทรีย์..... 18

การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนโดยแบคทีเรีย..... 19

กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และการบำบัดดินปนเปื้อนไพรีน/ฟีแนนทรีน..... 21

3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินการวิจัย 23

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 23

เคมีภัณฑ์และชุดทดสอบสำเร็จ..... 25

วิธีดำเนินงานวิจัย..... 27

3.1 แบคทีเรีย..... 27

3.2 โอลิโกนิวคลีโอไทด์ไพรเมอร์..... 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 ความสามารถในการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร..... 31
3.6.1 การเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรียที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตรในอาหารเหลว CFMM ที่มีไพรีนและฟีแนนทรีน..... 31
3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณไพรีนและฟีแนนทรีน..... 32
3.7 ติดตามพลวัตรประชากรแบคทีเรียโดย 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
3.7.5เพิ่มจำนวนชิ้นส่วนดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส (Polymerase Chain Reaction, PCR)..... 36
3.7.6 วิเคราะห์ Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE).... 37
4. ผลการทดลอง 39
4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลอง..... 39
4.2 ความสามารถในการดูดซับไพรีนและฟีแนนทรีนของวัสดุทางการเกษตร.... 40
4.3 ความสามารถในการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในอาหารเหลว CFMM..... 42

บทที่ หน้า

4.4 การรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผสมกับวัสดุทางการเกษตร..... 43
4.4.1 จำนวนกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ปลอดเชื้อ..... 44
4.4.2 จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไปในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อ..... 45
4.4.3 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อ..... 47
4.5 ความสามารถในการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร..... 49
4.5.1 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM..... 49
4.5.2 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM.... 53
4.6 ความสามารถในการย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนที่ความเข้มข้นรวม 1.0 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในวัสดุทางการเกษตร.. 59
4.6.1 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM..... 59
4.6.2 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อในอาหารเหลว CFMM.... 63
4.6.3 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนที่ความเข้มข้นสุดท้ายรวม 1.0 มก./มล. ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในอาหารเหลว CFMM..... 69
4.7 ผลการติดตามพลวัตรประชากรแบคทีเรียโดย Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)..... 72
4.7.1 พลวัตรประชากรกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อและพลวัตรประชากรแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรที่ไม่ปลอดเชื้อเมื่อเลี้ยงในอาหารเหลว 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 ใยบวบและนมผักกระเฉด..... 39

4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายไพรีนที่ความเข้มข้นสุดท้าย 0.5 มก./มล.ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ..... 71

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายฟีแนนทรีนที่ความเข้มข้นสุดท้าย 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	โครงสร้างโมเลกุลของฟีแนนทรีน (Chang และคณะ, 2002)	8
2.4	กระบวนการสลายตัวต่างๆของสารประกอบ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม (Cerniglia และ Heitkamp, 1989)	12
3.1	วัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ฟางข้าว ใยบวบ และนมผักกระเฉดที่บดและผ่านการคัดกรองแล้ว	28
3.2	อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM ที่มีไพรีนและฟีแนนทรีนความเข้มข้นสุดท้ายชนิดละ 0.05 มก./มล. เมื่อเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 เป็นเวลา 3 วัน เปรียบเทียบกับที่เวลา 0 วัน	29
4.1	การดูดซับไพรีนและฟีแนนทรีนของฟางข้าวในอาหารเหลว CFMM	41
4.2	การดูดซับไพรีนและฟีแนนทรีนของใยบวบในอาหารเหลว CFMM	41
4.3	การดูดซับไพรีนและฟีแนนทรีนของนมผักกระเฉดในอาหารเหลว CFMM	42
4.4	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3	43
4.5	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในวัสดุทางการเกษตรปลอดเชื้อ.	45
4.6	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไปทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ	46
4.7	จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อที่ย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีน	47
4.8	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อ	48
4.9	จำนวนแบคทีเรียในวัสดุทางการเกษตรไม่ปลอดเชื้อที่ย่อยสลายไพรีน/ฟีแนนทรีน	49
4.10	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในฟางข้าวปลอดเชื้อ	51
4.11	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในใยบวบปลอดเชื้อ	52
4.12	การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมในนมผักกระเฉดปลอดเชื้อ	53

รูปที่ หน้า

4.13 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในฟางข้าวและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ..... 55
4.14 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในใยบวบและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในใยบวบที่ไม่ปลอดเชื้อ..... 57
4.15 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในนมผักกระเฉดและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ..... 58
4.16 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในฟางข้าวปลอดเชื้อ..... 61
4.17 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในใยบวบปลอดเชื้อ..... 62
4.18 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เลี้ยงในนมผักกระเฉดปลอดเชื้อ..... 63
4.19 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในฟางข้าวและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ..... 65
4.20 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในใยบวบและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในใยบวบไม่ปลอดเชื้อ..... 67
4.21 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยแบคทีเรียในนมผักกระเฉดและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ..... 68
4.22 การย่อยสลายไพรีนและฟีแนนทรีนในอาหารเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3..... 70
4.23 พลวัตรประชากรแบคทีเรียในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตรประชากรแบคทีเรียในฟางข้าวไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM.. 74
4.24 พลวัตรประชากรแบคทีเรียในใยบวบไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตรประชากรแบคทีเรียในใยบวบไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM... 76
4.25 พลวัตรประชากรแบคทีเรียในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อและกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เติมลงไป (ซ้าย) และพลวัตรประชากรแบคทีเรียในนมผักกระเฉดไม่ปลอดเชื้อ (ขวา) ในอาหารเหลว CFMM..... 77

สัญลักษณ์และคำย่อ

°ซ = องศาเซลเซียส

% = เปอร์เซ็นต์

มก. = มิลลิกรัม

มล. = มิลลิลิตร

มม. = มิลลิเมตร

ซม. = เซนติเมตร

ชม. = ชั่วโมง

กก. = กิโลกรัม

bp = base pairs