# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

### 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินและวัสดุจากการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองเก็บมาจากเนินเขาในป่า อ. สวนผึ้ง จ. ราชบุรี โดยที่แหล่งดินนี้ไม่มีประวัติการปนเปื้อนจากสาร PAHs มาก่อน ตรวจสอบ PAHs ในดินโดยการสกัดและวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC แล้วไม่พบว่ามีการปนเปื้อนสารดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของดินที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากฝ่ายวิเคราะห์ดินและน้ำ กองเกษตรเคมี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

| พารามิเตอร์ | ผลการวิเคราะห์ |
|---|---|
| ลักษณะเนื้อดิน | ดินทราย (sandy soil) |
| ทราย | 73 %* |
| ดินทรายแป้ง | 19%* |
| ดินเหนียว | 8%* |
| ปริมาณสารอินทรีย์ | 2.12%** |
| ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน | 1.23%** |
| ปริมาณไนโตรเจน | 0.10%** |
| อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | 12 : 1** |
| ปริมาณฟอสเฟต | 0.02%** |
| ปริมาณโพแทสเซียม | 0.22%** |
| ความเป็นกรดด่าง | 6.5** |
| ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุและอิออน | 5.2 me/ 100 กรัม* |
| ความจุสูงสุดในการอุ้มน้ำ | 30.73%* |

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยฝ่ายวิจัยดิน กองเกษตรเคมี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

** วิเคราะห์โดยภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัสดุการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ได้มาจากฝ่ายวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ บางเขน กรุงเทพฯ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี

| พารามิเตอร์ | ผลการวิเคราะห์* | | |
|---|---|---|---|
| | ฟางข้าว | เปลือกถั่ว | ใบจามจุรี |
| ความเป็นกรดด่าง | 6.9 | 5.2 | 6.6 |
| ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน | 45.08 % | 42.88 % | 36.42 % |
| ปริมาณไนโตรเจน | 0.89 % | 0.87 % | 3.10 % |
| ปริมาณฟอสเฟต | 0.39 % | 0.39 % | 0.49 % |
| ปริมาณโพแทสเซียม | 1.98 % | 0.75 % | 0.90 % |
| อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | 51 : 1 | 49 :1 | 12 : 1 |
| ความชื้นที่ 75° ซ. 20 ชม. | 7.76 % | 10.87 % | 13.46 % |

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยฝ่ายวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

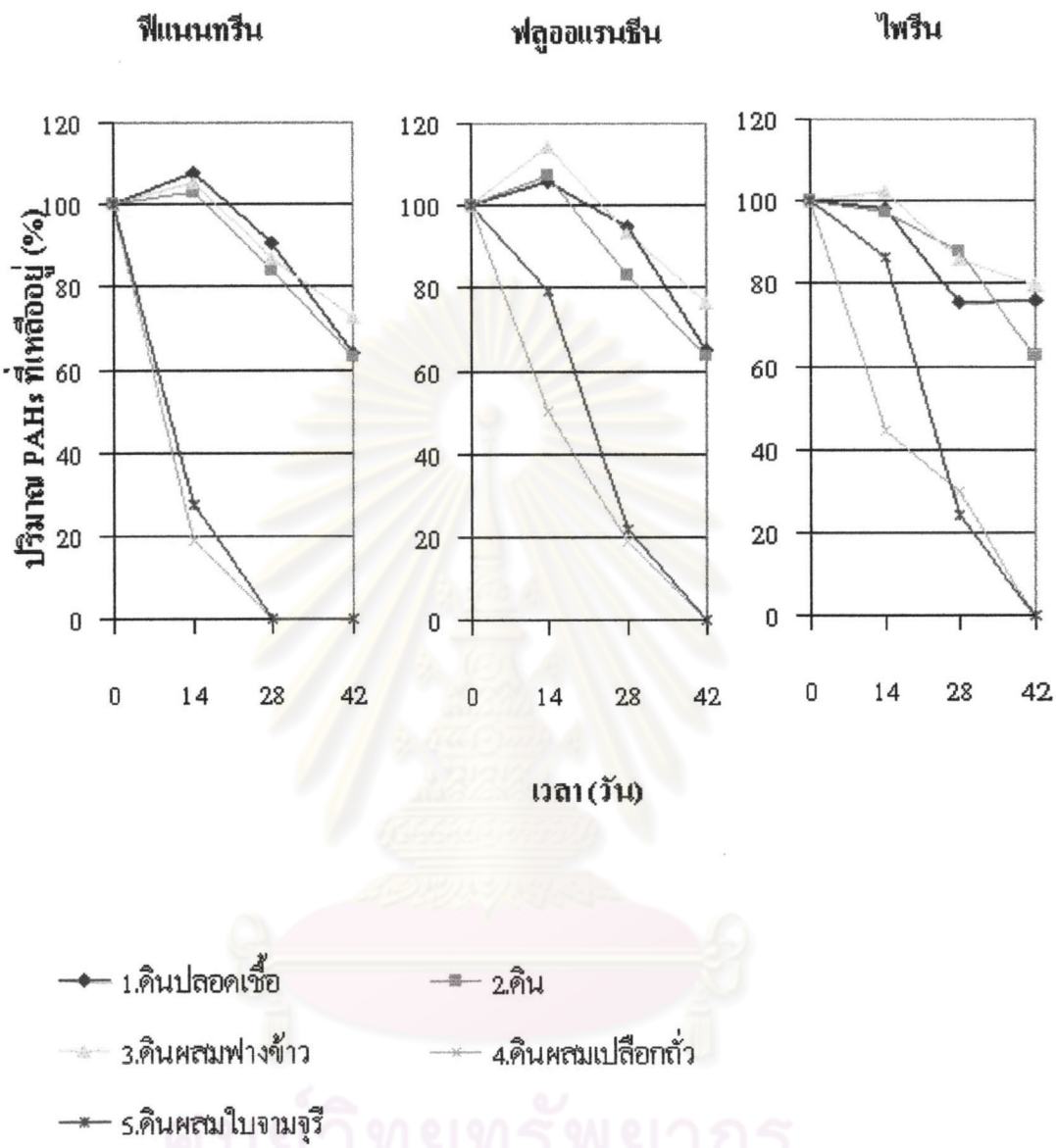
## 4.2 ผลการคัดเลือกวัสดุการเกษตรที่สามารถเร่งสลายสาร PAHs ในดิน

การคัดเลือกวัสดุการเกษตร ฟางข้าว เปลือกถั่ว และใบจามจุรี ที่สามารถเร่งสลายสาร PAHs 3 ชนิดได้แก่ ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนในดิน ได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 5 ชุดได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1 ดินปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 2 ดินไม่ปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 3 ดินผสมฟางข้าว
ชุดการทดลองที่ 4 ดินผสมเปลือกถั่ว
ชุดการทดลองที่ 5 ดินผสมใบจามจุรี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ที่เหลืออยู่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ วันที่ 0 ซึ่งให้เป็นปริมาณเริ่มต้นที่ 100 % เมื่อสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า ดินผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) และดินผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 5) สาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตั้งแต่วันที่ 28 ของการทดลอง จะตรวจไม่พบฟีแนนทรีน ส่วนฟลูออแรนธีน และไพรีนจะตรวจไม่พบในวันที่ 42 ของการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ดินผสมฟางข้าว (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า วันที่ 42 มีปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนเหลืออยู่ 72.45 % 76.16 % และ 79.88 % ตามลำดับ เช่นเดียวกับดินปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 1) สาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดเหลืออยู่ 63.82 % 64.8 % และ 75.72 % ตามลำดับ และดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 2) สาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด จะเหลืออยู่ 63.23 % 63.62 % และ62.57 % ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้ปริมาณสาร PAHs ลดลงไม่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองดินผสมเปลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.1** ปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ที่เหลืออยู่ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในดินที่ทดสอบการย่อยสลายสาร PAHs โดยเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs หลังจากการบ่มไว้ในดินปลอดเชื้อ ดินไม่ปลอดเชื้อ ดินผสมฟางข้าว หรือผสมเปลือกถั่ว หรือผสมใบจามจุรี

จากรูปที่ 4.1 การเติมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4 ) หรือการเติมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 5) ลงในดินช่วยลดปริมาณสาร PAHs ในดินได้รวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ ดินผสมฟางข้าว ดินปลอดเชื้อ และดินไม่ปลอดเชื้อ เพราะฉะนั้น เปลือกถั่ว และใบจามจุรี จึงเป็นวัสดุการเกษตรที่น่าสนใจ และคัดเลือกไปศึกษาในลำดับต่อไป เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้สาร PAHs ลดลงเมื่อเติมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีลงในดิน

## 4.3 ปัจจัยที่ทำให้มีการเร่งการสลายสาร PAHs ในดินเมื่อเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรี

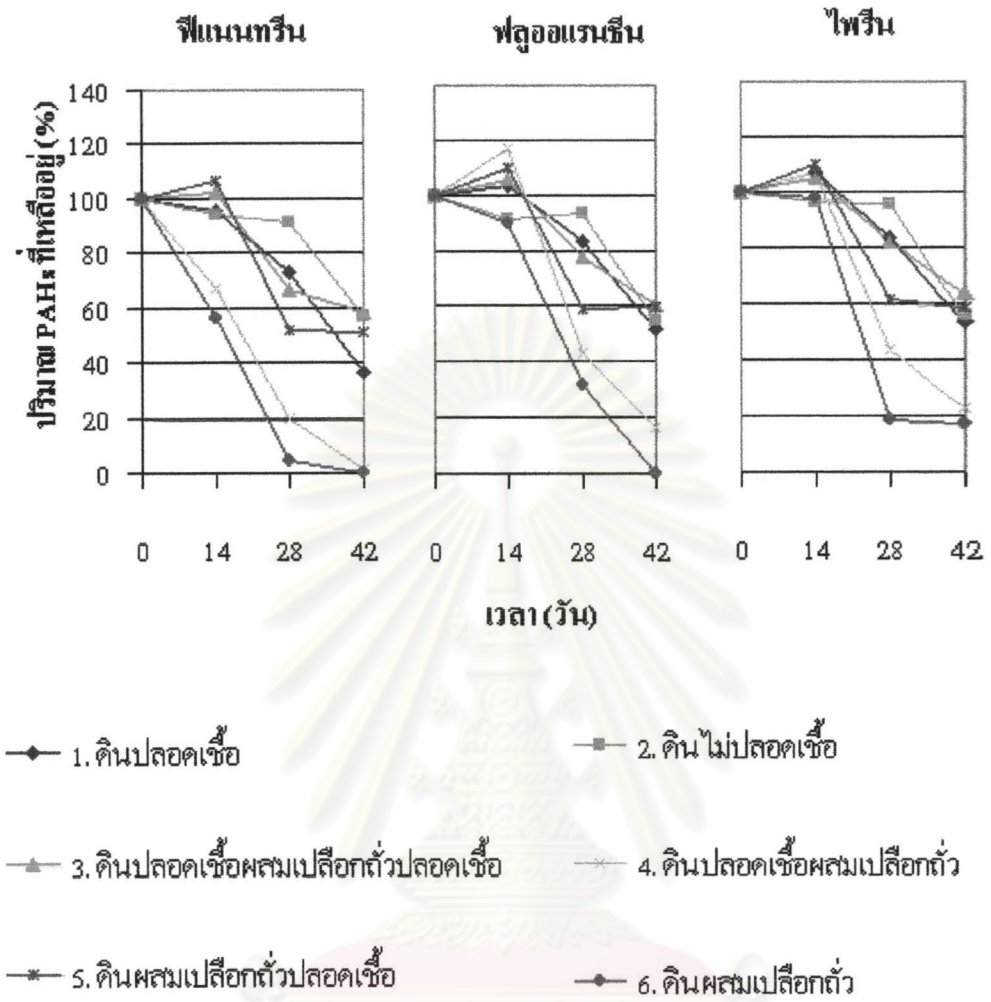
การเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีลงในดินนั้นช่วยลดปริมาณสาร PAHs 3 ชนิด ได้แก่ ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน โดยลดลงได้อย่างรวดเร็วกว่าในดินตามธรรมชาติ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากหลายประการด้วยกัน ในการทดลองลำดับต่อไปผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะหาปัจจัยที่ทำให้สาร PAHs ในดินลดลงเมื่อเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรี

### 4.3.1 การศึกษาปัจจัยที่ทำให้สาร PAHs ลดลงเมื่อเติมเปลือกถั่ว

โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1 ดินปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 2 ดินไม่ปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 3 ดินปลอดเชื้อ ผสม เปลือกถั่วปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 4 ดินปลอดเชื้อ ผสม เปลือกถั่ว
ชุดการทดลองที่ 5 ดิน ผสม เปลือกถั่วปลอดเชื้อ
ชุดการทดลองที่ 6 ดิน ผสม เปลือกถั่ว

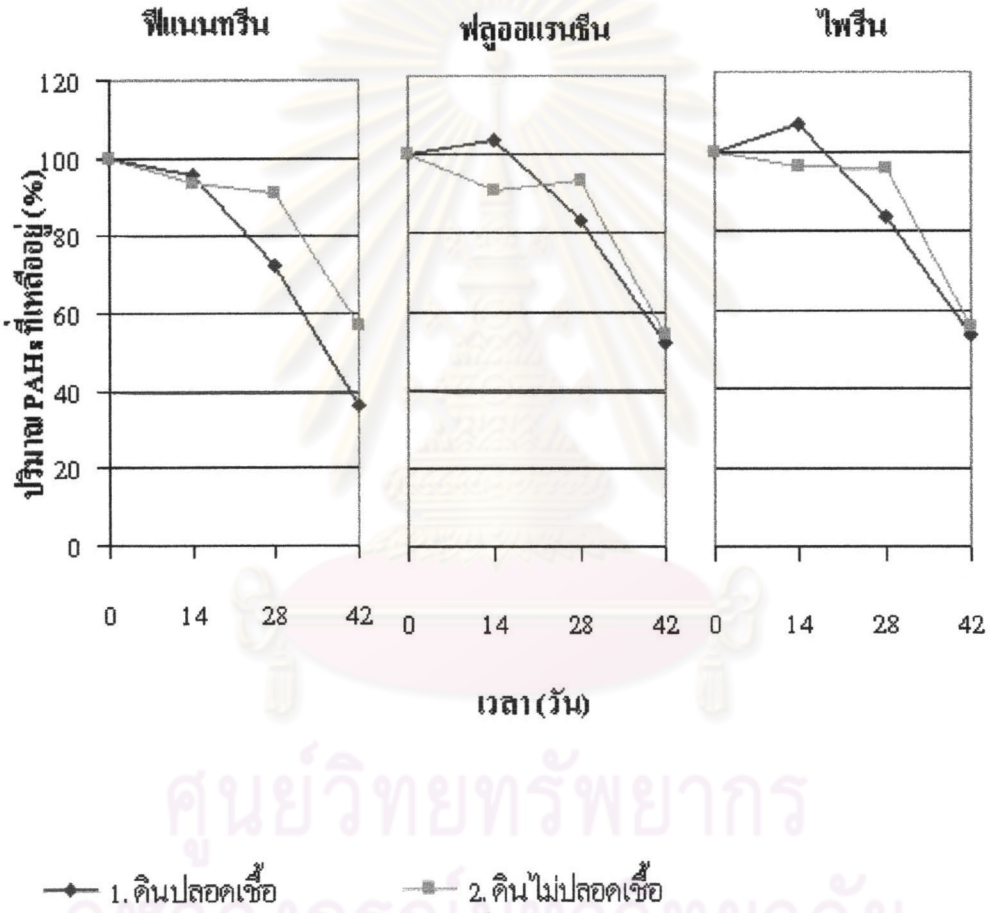
เมื่อบ่มชุดทดลองไว้ในที่มืด ระยะเวลานาน 42 วัน นำไปสกัด และวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ในช่วงเวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ในชุดการทดลองต่างๆ โดยมีปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลงเมื่อผสมเปลือกถั่วในดิน (รูปที่ 4.2)




**รูปที่ 4.2** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ในชุดการทดลองต่างๆ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลงเมื่อผสมเปลือกถั่วในดิน โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

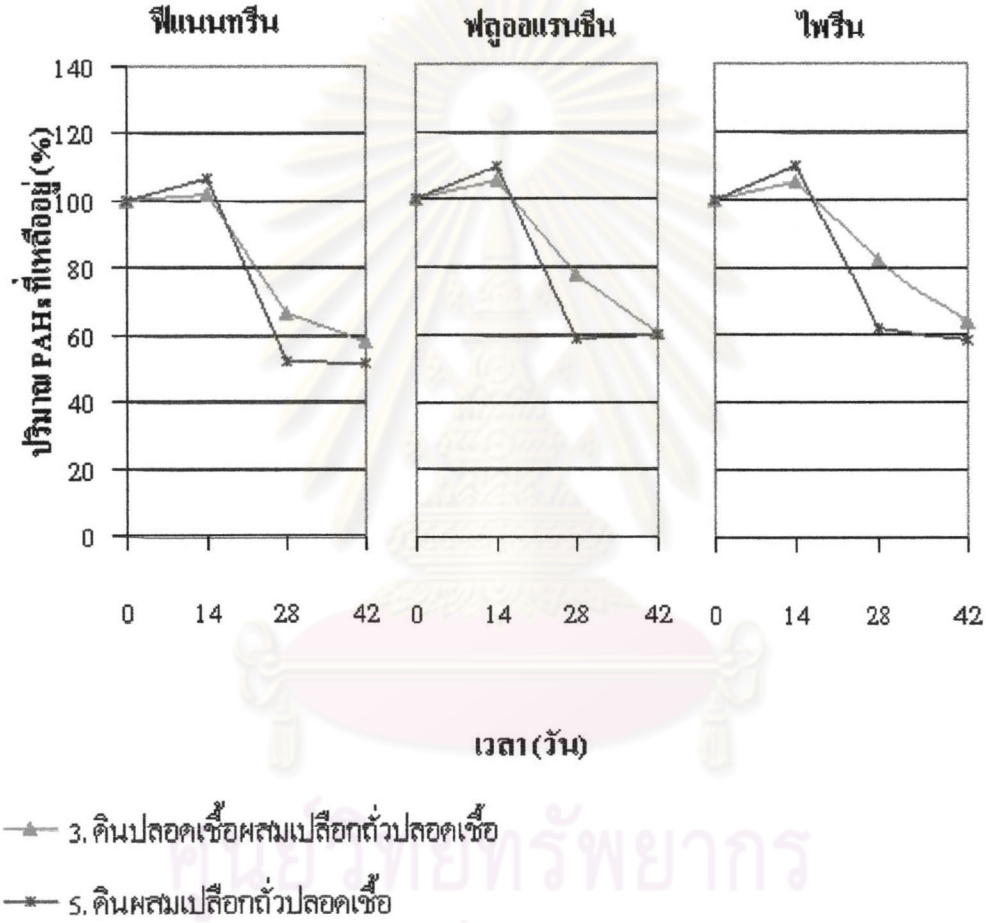
เมื่อนำปริมาณสาร PAHs ที่เหลืออยู่ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 1) เปรียบเทียบกับดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs เมื่อมีปัจจัยชีวภาพจากดิน พบว่า การเปลี่ยนแปลงสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ของดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 2 ) ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม (ดินปลอดเชื้อ ) แสดงดังรูปที่ 4.3 อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ในแหล่งดิน เกิดจากปัจจัยทางกายภาพในดิน โดยที่สิ่งมีชีวิตในแหล่งดินที่นำมาใช้ในการทดลองไม่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดนี้




**รูปที่ 4.3** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนเมื่อมีสิ่งมีชีวิตและไม่มีสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเปรียบเทียบระหว่างดินปลอดเชื้อ กับดินไม่ปลอดเชื้อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

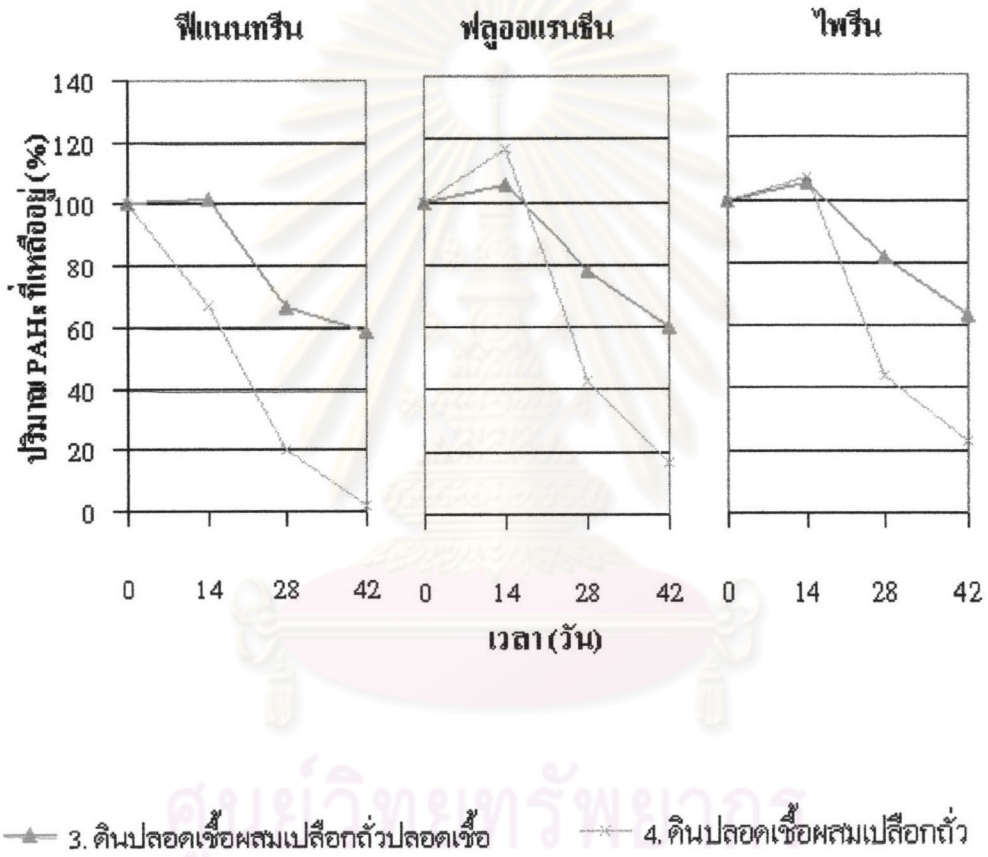
และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดควบคุม,ชุดการทดลองที่ 3) กับดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5 ) ซึ่งทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีปัจจัยชีวภาพจากเปลือกถั่ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ในชุดการทดลองดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำดินมาเติมสารอินทรีย์จากเปลือกถั่วที่ปลอดเชื้อ นั้นไม่สามารถสนับสนุนให้สิ่งมีชีวิตและจุลชีพท้องถิ่นในดินย่อยสลายสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดนี้ได้




**รูปที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน เมื่อเติมสาร อินทรีย์จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อ โดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 3) กับ ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

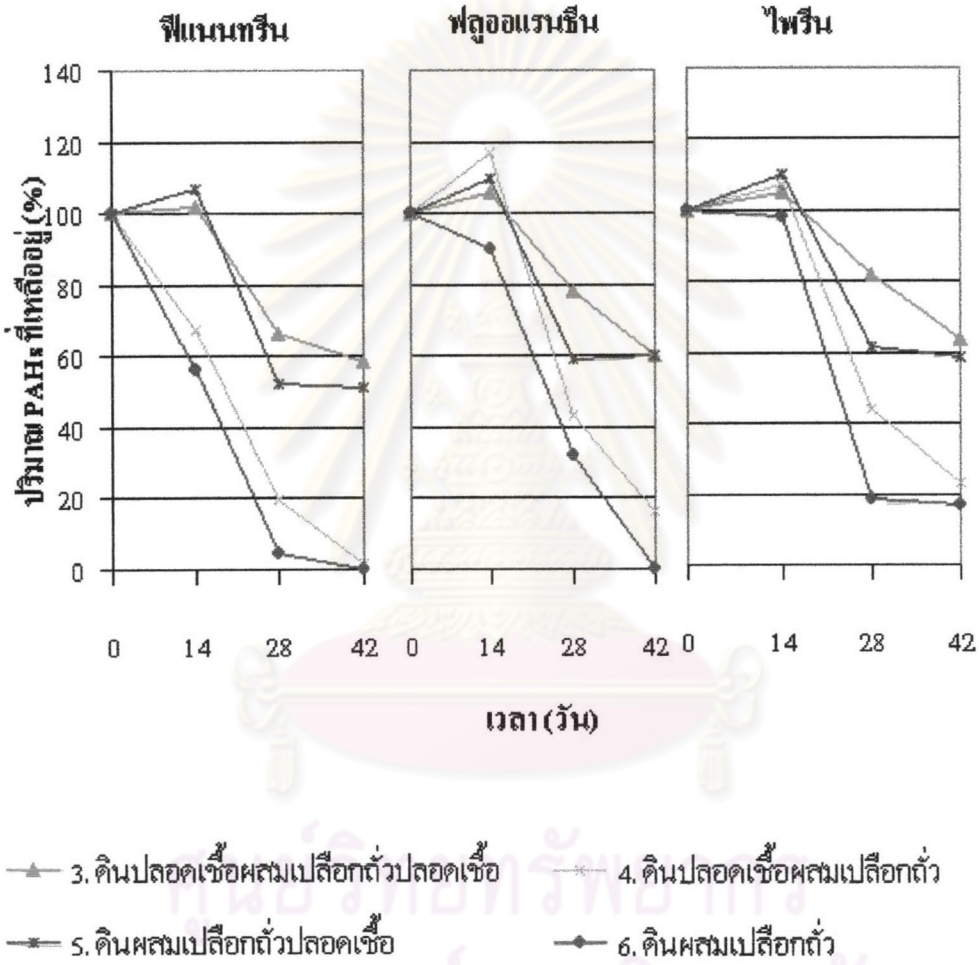
เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่ว โดยเปรียบเทียบระหว่าง ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ปลอดเชื้อ ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3) กับ ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) พบว่า สาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดที่ลดลงในดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว แตกต่างจากชุดควบคุม โดยที่ ฟีแนนทรีนลดลงจนตรวจไม่พบในวันที่ 42 ส่วน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ลดลงเหลือ 16.34 % และ 23 % ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3) ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ลดลงเหลือ 58.3 % 60.3 % และ 63.57 % ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

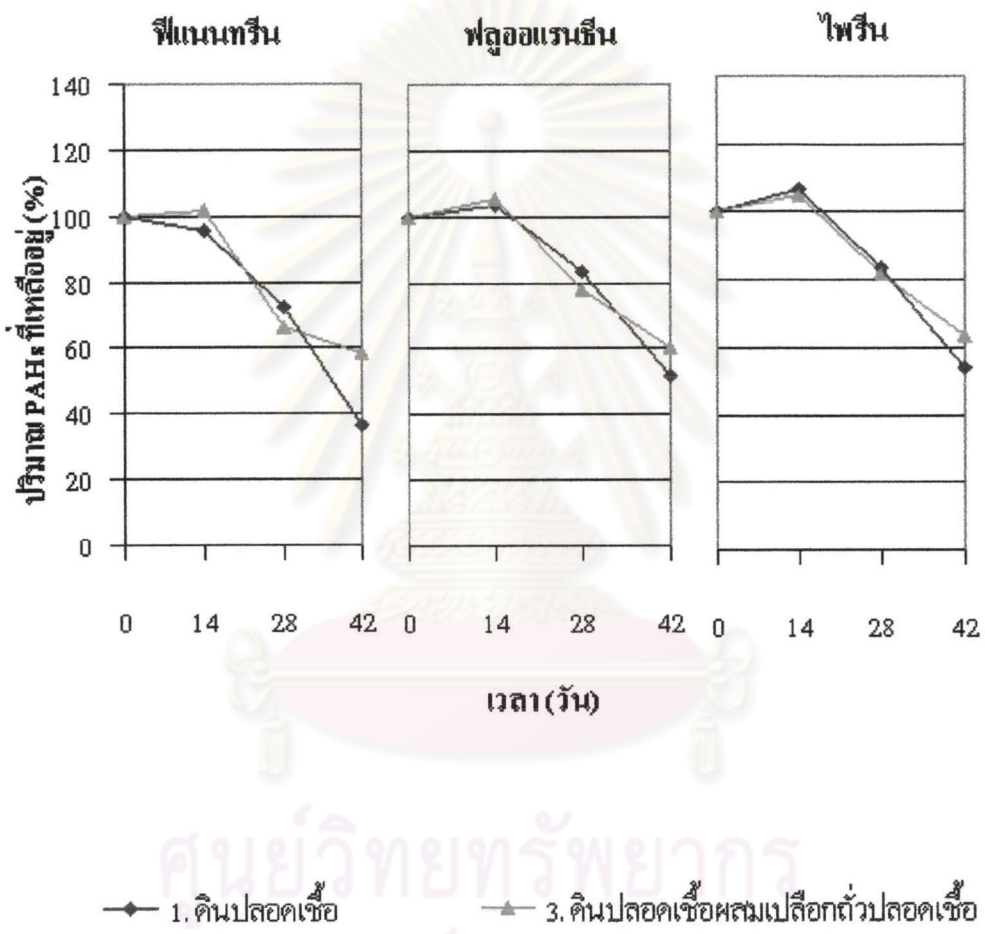
**รูปที่ 4.5** ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลง เป็นเปอร์เซนต์ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่ว โดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) กับดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 3)

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่วเป็นผลให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดในดินได้ โดยจะเห็นการลดลงของสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดในดินได้อย่างชัดเจน เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากเปลือกถั่วเท่านั้น ที่ทำให้มีการย่อยสลายสาร PAHs (รูปที่ 4.6) ซึ่งพบว่าปริมาณสาร PAHs จะลดลงเฉพาะในชุดการทดลองที่ 4 ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว และชุดการทดลองที่ 6 ดินผสมเปลือกถั่วเท่านั้น




**รูปที่ 4.6** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อมีปัจจัยชีวภาพจากเปลือกถั่ว เมื่อผสมเปลือกถั่วที่ไม่ปลอดเชื้อ ลงในดินปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 4) และดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 6) ขณะที่การผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อลงในดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5) ปริมาณสาร PAHs จะลดลงเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3)

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ 1 ดินปลอดเชื้อ กับชุดการทดลองที่ 3 ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ ซึ่งเป็นชุดควบคุมทั้ง 2 ชุด นั้นพบว่า ปริมาณสาร PAHs ที่เหลืออยู่ตลอดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.7 อาจกล่าวได้ว่าปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดิน และดินผสมเปลือกถั่วนั้นไม่แตกต่างกัน และแสดงให้เห็นถึงการลดลงของสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดจากปัจจัยทางกายภาพ ในดิน และดินผสมเปลือกถั่ว เมื่อไม่มีปัจจัยทางชีวภาพมาสนับสนุน




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.7** แสดงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซนต์ในดินปลอดเชื้อ และเปลือกถั่วปลอดเชื้อผสมดินปลอดเชื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs จากปัจจัยทางกายภาพ และเป็นการแสดงว่าสารอินทรีย์จากเปลือกถั่วไม่มีบทบาทในการลดปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดิน

### 4.3.2 การศึกษาปัจจัยที่ทำให้สาร PAHs ลดลงเมื่อเติมใบจามจุรี

โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 ดินปลอดเชื้อ

ชุดที่ 2 ดินไม่ปลอดเชื้อ

ชุดที่ 3 ดินปลอดเชื้อ ผสม ใบจามจุรีปลอดเชื้อ

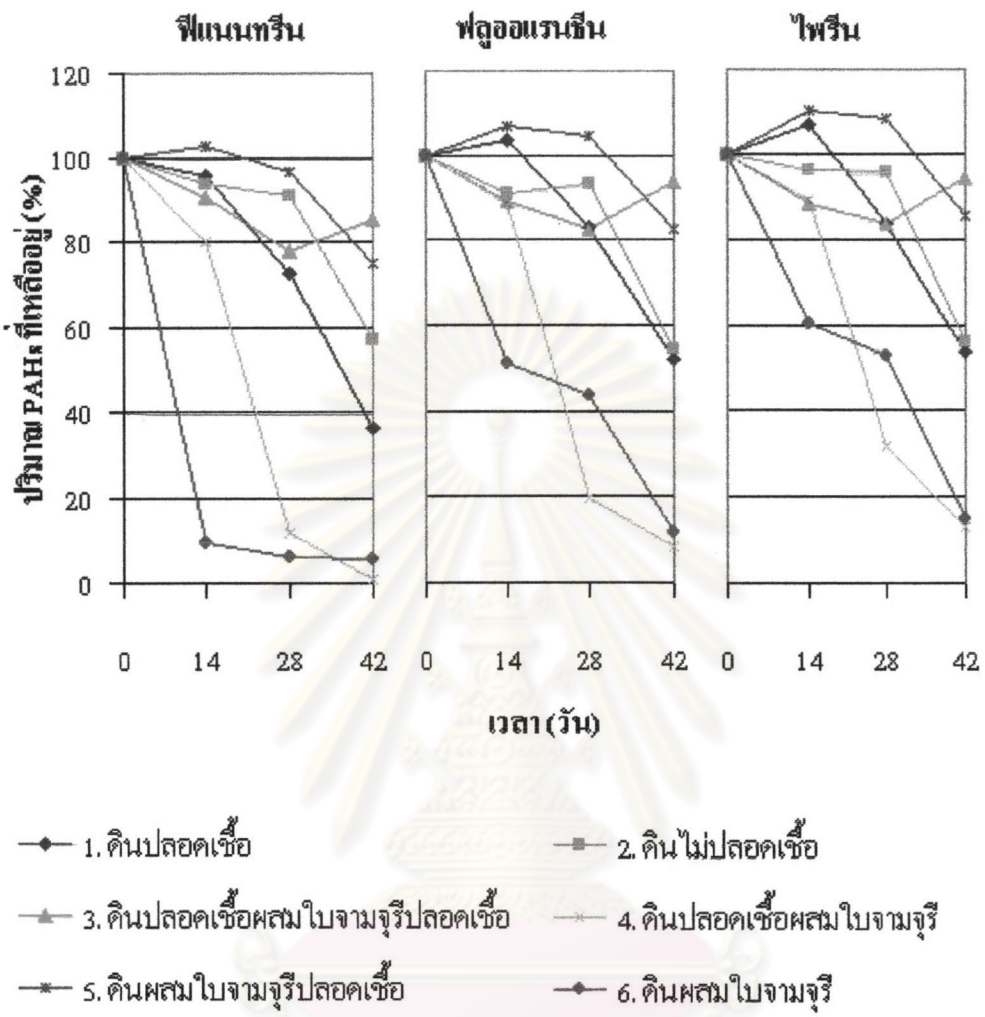
ชุดที่ 4 ดินปลอดเชื้อ ผสม ใบจามจุรี

ชุดที่ 5 ดิน ผสม ใบจามจุรีปลอดเชื้อ

ชุดที่ 6 ดิน ผสม ใบจามจุรี

บ่มชุดการทดลองไว้ในที่มืด ระยะเวลานาน 42 วัน นำไปสกัด และวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ในช่วงเวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ในชุดการทดลองต่างๆ เมื่อมีปัจจัยทางกายภาพ และชีวภาพ ที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลง เมื่อผสมใบจามจุรีในดิน โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ แสดงดังรูปที่ 4.8

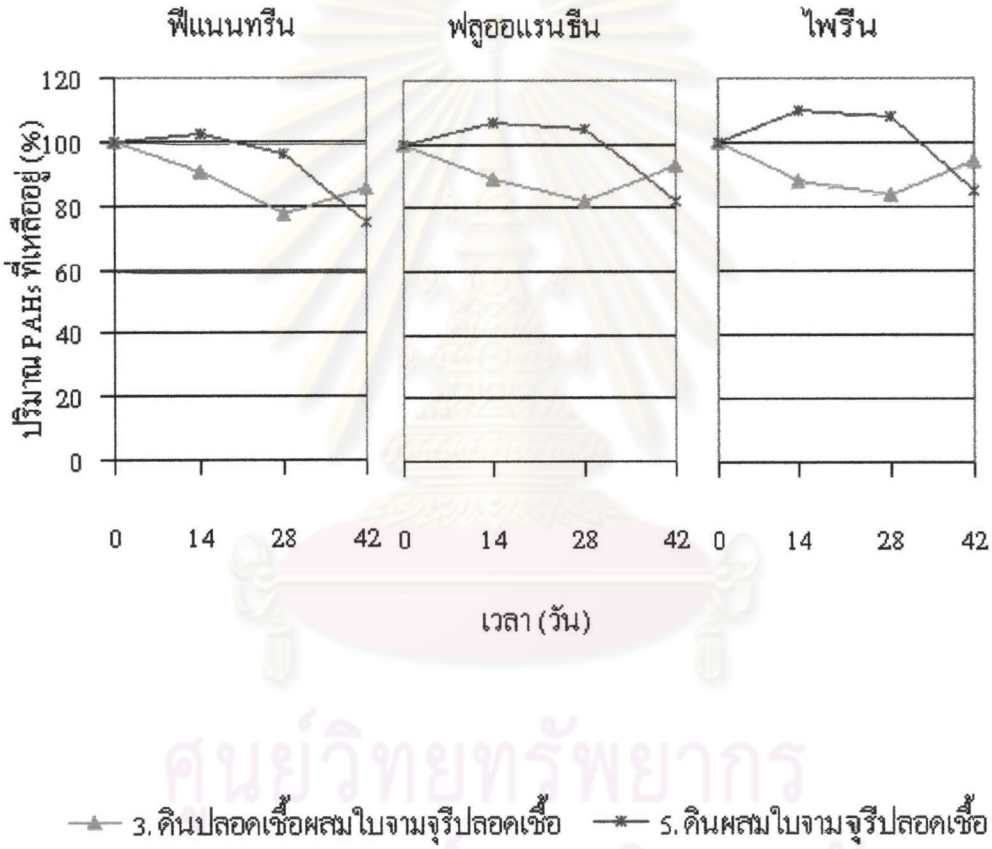
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




**รูปที่ 4.8** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร PAHs (ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน) ในชุดการทดลองต่างๆ เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพ และกายภาพที่ทำให้ปริมาณสาร PAHs ลดลงเมื่อผสมใบจามจุรีในดินโดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ PAHs ที่เหลืออยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

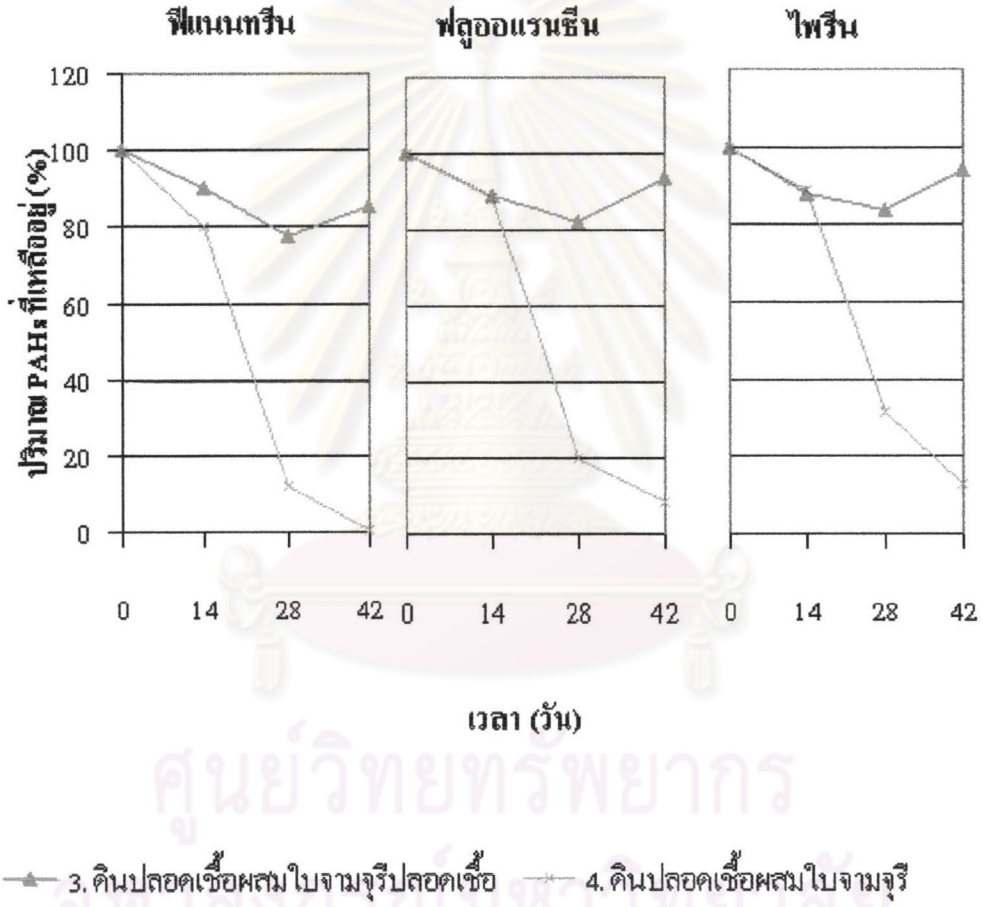
และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ ซึ่งเป็นชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3) กับดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5 ) ซึ่งทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีปัจจัยทางชีวภาพจากใบจามจุรี พบว่า การเปลี่ยนแปลงสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ในชุดการทดลองดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม แสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมีปัจจัยชีวภาพในดินแต่เติมสารอินทรีย์จากใบจามจุรีที่ไม่มีปัจจัยทางชีวภาพนั้นไม่สามารถสนับสนุนให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดโดยจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่อยู่ในดินได้




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

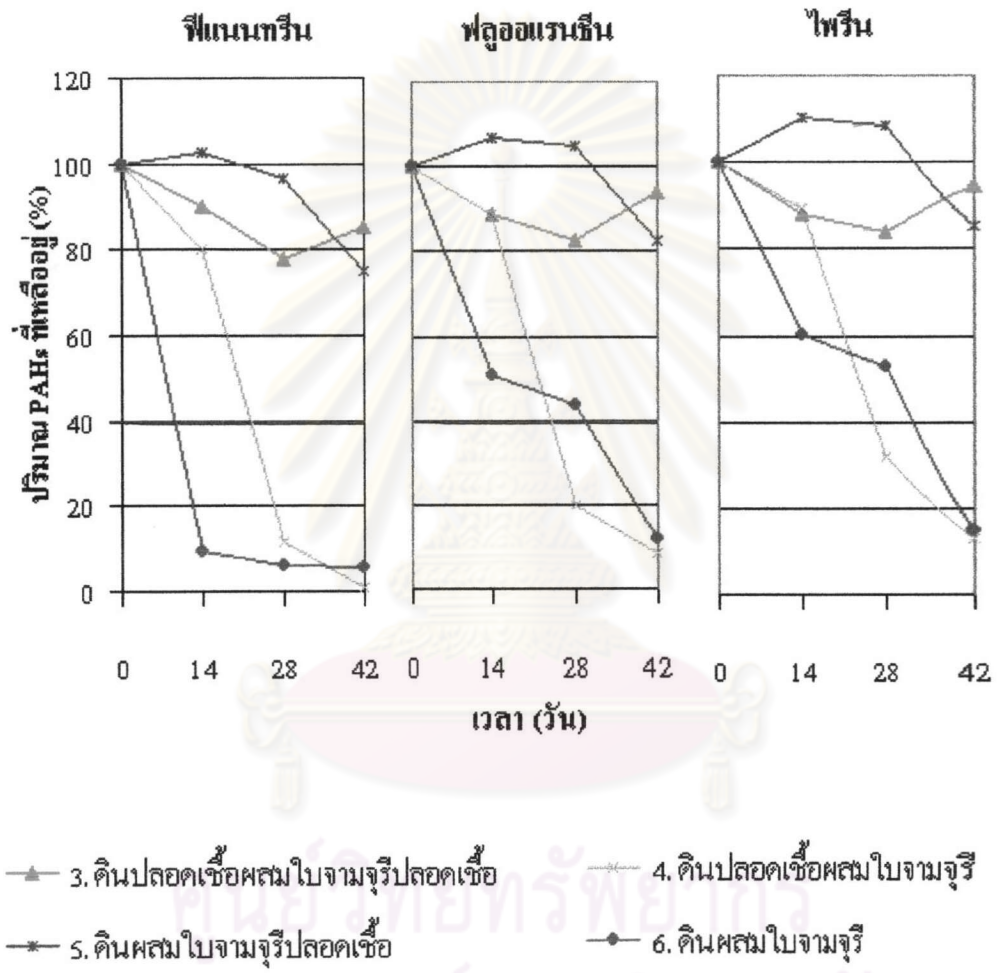
**รูปที่ 4.9** ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเติมสาร อินทรีย์จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อ โดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 3) กับ ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5)

และเมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากใบจามจุรี โดยเปรียบเทียบระหว่าง ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3 ) กับ ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4) พบว่าในดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดลดลงแตกต่างจากชุดควบคุม โดยในวันที่ 42 สารฟีแนนทรีนลดลงเหลือ 0.75 % ส่วน ฟลูออแรนธีน และไพรีนลดลงเหลือ 8.51 % และ 12.93 % ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุมปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ลดลงเหลือ 85.39 % 93.68 % และ 94.31 % ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.10




**รูปที่ 4.10** ปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลง (%) เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากใบจามจุรี โดยการเปรียบเทียบดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4) กับดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 3)

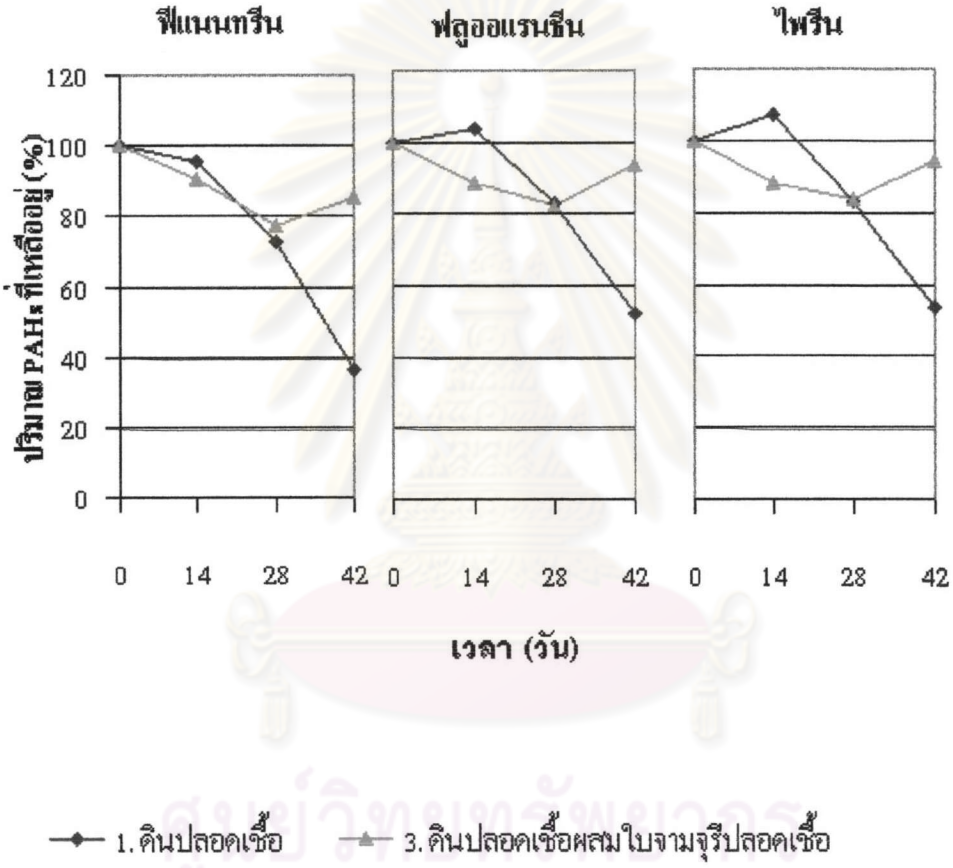
จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีสิ่งมีชีวิตจากใบจามจุรีเป็นปัจจัยให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดในดินได้ โดยจะเห็นการลดลงของสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดในดินได้อย่างชัดเจน เมื่อมีปัจจัยทางชีวภาพจากใบจามจุรีเท่านั้น ที่ทำให้มีการย่อยสลายสาร PAHs (รูปที่ 4.11) ซึ่งพบว่าปริมาณ PAHs จะลดลงเฉพาะในชุดการทดลองที่ 4 ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี และชุดการทดลองที่ 6 ดินผสมใบจามจุรีเท่านั้น




**รูปที่ 4.11** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อมีปัจจัยชีวภาพจากใบจามจุรี เมื่อผสมใบจามจุรีที่ไม่ปลอดเชื้อ ลงในดินปลอดเชื้อ(ชุดการทดลองที่ 4) และดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 6) ขณะที่การผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อลงในดินไม่ปลอดเชื้อ (ชุดการทดลองที่ 5) ปริมาณสาร PAHs จะลดลงเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ 1 ดินปลอดเชื้อ กับ ชุดการทดลองที่ 3 ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ ซึ่งเป็นชุดควบคุมทั้ง 2 ชุด นั้นพบว่า ปริมาณสาร PAHs ที่เหลืออยู่ในวันที่ 42 แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งในชุดการทดลองที่ 1 ดินปลอดเชื้อ พบว่า สารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนลดลงเหลือ 36.42 % 51.93 % และ 53.72 % ตามลำดับ ขณะที่ ชุดการทดลองที่ 3 ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดยังคงใกล้เคียงกับวันที่เริ่มต้นการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.12




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.12** แสดงปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่เหลืออยู่ เป็นเปอร์เซ็นต์ ในดินปลอดเชื้อ และใบจามจุรีปลอดเชื้อผสมดินปลอดเชื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs จากปัจจัยทางกายภาพ และเป็นการแสดงว่าสารอินทรีย์จากใบจามจุรีไม่มีบทบาทในการลดปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดิน

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า การเติมใบจามจุรี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสาร PAHs จากในดิน ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อ PAHs อยู่ในดินเป็นระยะเวลานานจะถูกดูดซับอยู่ในอนุภาคดิน ทำให้จำกัดปริมาณ PAHs ที่สกัดได้จากดินเมื่อใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป ตัวอย่างเช่นชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ นอกจากนี้แล้วการดูดซับสาร PAHs ลงในดินเป็นเวลานาน ยังก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ไม่มีโอกาสเข้าไปย่อยสลายสาร PAHs ที่ถูกดูดซับดังกล่าว ดังรายงานของ Kastner และ Mahro (1996)

จากผลการทดลองนี้การเติมใบจามจุรีลงในดินนอกจากเป็นการเพิ่มจุลชีพท้องถิ่นจากใบจามจุรีแล้ว ยังช่วยให้สกัดสาร PAHs จากดินได้ดีขึ้นซึ่งหมายถึงทำให้จุลชีพเข้าย่อยสลายสาร PAHs ในดินได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้จากการทดลองนี้ว่าใบจามจุรีช่วยทำให้มีการสกัดสาร PAHs ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ได้สูงขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองเพียง 42 วัน จึงได้มีการทดลองเพื่อหาปริมาณ PAHs ที่สกัดได้โดยใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

นอกจากนี้ได้ตรวจนับจำนวนของแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารฟีแนนทรีนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนรา ในชุดการทดลองต่างๆ ที่ศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs ของใบจามจุรี และเปลือกถั่ว โดยสามารถตรวจพบแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารฟีแนนทรีนได้เฉพาะในชุดการทดลองที่เติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีที่มีปัจจัยทางชีวภาพเท่านั้นซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบปริมาณสาร PAHs ที่ลดลงเฉพาะในชุดการทดลองที่มีปัจจัยชีวภาพจากเปลือกถั่วหรือใบจามจุรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.3.3 การตรวจหาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

#### 4.3.3.1 การตรวจหาจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่มีปัจจัยชีวภาพของการทดลองการเร่งการสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่ว

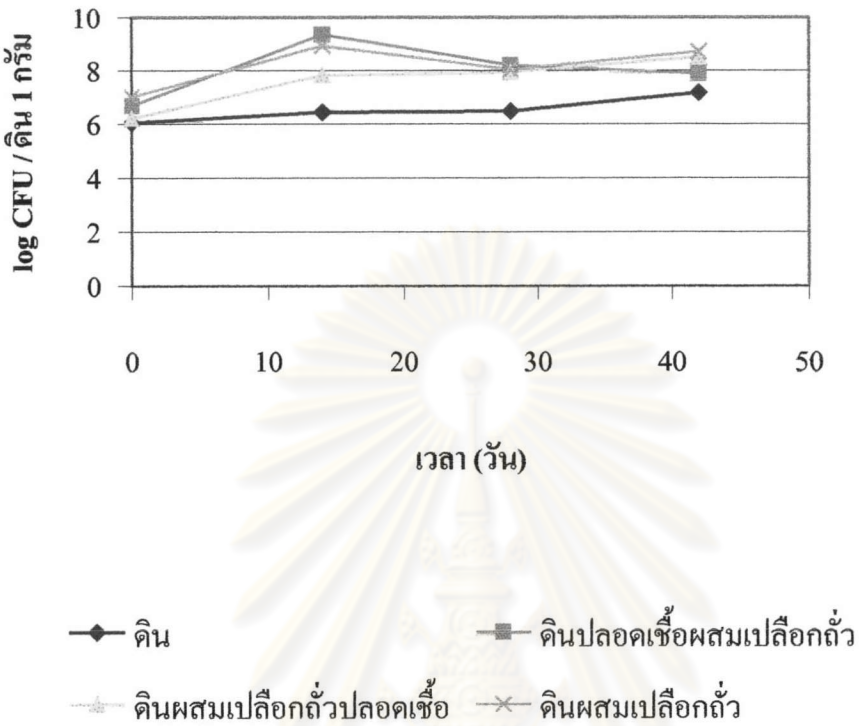
โดยทำการทดลองศึกษาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีน ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs และจำนวนรา ในชุดการทดลองต่างๆในระหว่างการทดลอง 0 –42 วัน แสดงดังตารางที่ 4.3, 4.4 และ4.5

**ตารางที่ 4.3** แสดงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน

| ชุดการทดลอง | จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^6$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 1.1 | 2.72 | 3.1 | 15 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม เปลือกถั่ว | 4.75 | 2260 | 158 | 78 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่วปลอดเชื้อ | 1.6 | 67.5 | 88 | 330 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่ว | 10.2 | 845 | 113 | 520 |

จากตารางที่ 4.3 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบนอาหารแข็ง LB ในช่วงวันแรกของการทดลองเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยในชุดการทดลองต่างๆ ดังนี้ ดินผสมเปลือกถั่ว ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดิน โดยมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ $1.02 \times 10^7$, $4.75 \times 10^6$, $1.6 \times 10^6$ และ$1.1 \times 10^6$ CFU / ต่อ ดิน 1 กรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในระยะเวลา 42 วัน จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบจะมีจำนวนมากขึ้นจากวันแรกที่เริ่มต้นการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




**รูปที่ 4.13** แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของเปลือกถั่ว ซึ่งประกอบด้วย ดิน ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดินผสมเปลือกถั่ว ในช่วงระยะเวลา 42 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

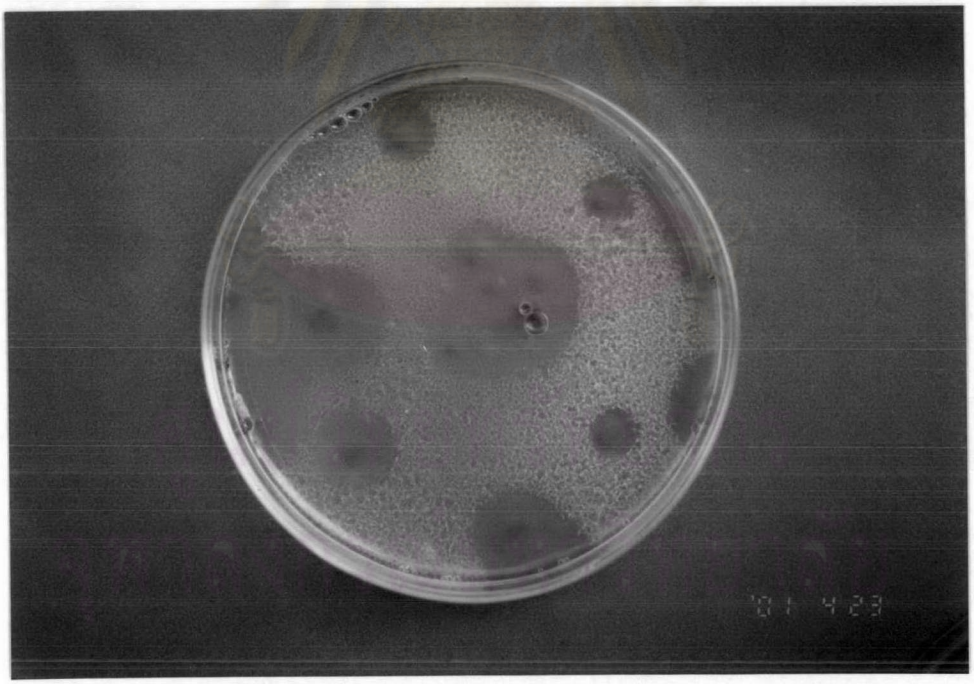
**ตารางที่ 4.4** แสดงจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs ที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆ ของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน

| ชุดการทดลอง | จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีน ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^6$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม เปลือกถั่ว | 0 | 3.2 | 1.0 | 8.7 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่วปลอดเชื้อ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่ว | 0 | 1.6 | 1.76 | 11.5 |

จากตารางที่ 4.4 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนจะตรวจนับบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วยฟีแนนทรีน ในชุดการทดลองต่างๆ ได้แก่ ดิน ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดินผสมเปลือกถั่ว จากการทดลองจะตรวจพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนสร้างบริเวณใสล้อมรอบโคโลนี ได้เฉพาะในชุดการทดลองที่มีการเติมเปลือกถั่วไม่ปลอดเชื้อลงในดิน หรือดินปลอดเชื้อเท่านั้น ในรูปที่ 4.14 แสดงแบคทีเรียที่ตรวจพบบนอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

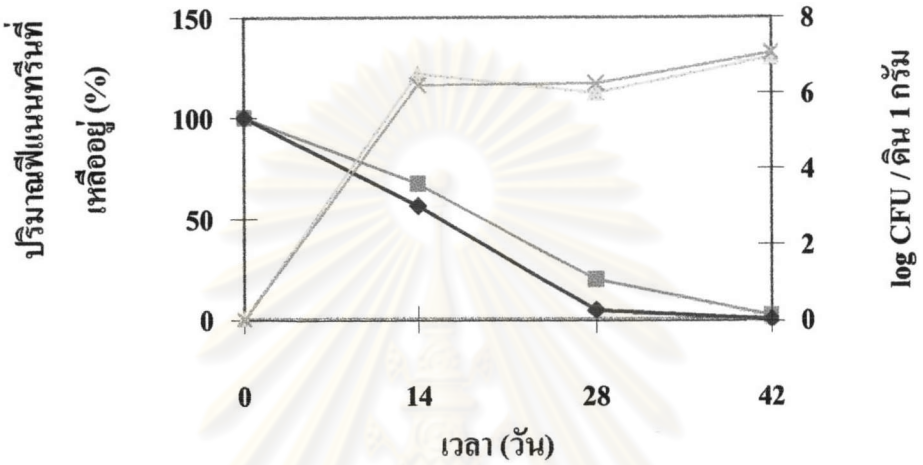
(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.14** แสดงลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารฟีแนนทรีน ซึ่งสร้างบริเวณใส รอบโคโลนีบนอาหารแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วย ฟีแนนทรีน โดยแยกได้จากชุดการทดลอง ดินผสมเปลือกถั่ว (ก) และ ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ข)

ในวันแรกของการทดลองจะตรวจไม่พบแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนทั้งในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว และดินผสมเปลือกถั่ว โดยเริ่มตรวจพบในวันที่ 14 ของการทดลอง และพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 42 ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว และชุดดินผสมเปลือกถั่ว มีจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.15




ปริมาณฟีแนนทรีนในชุดดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4)

ปริมาณฟีแนนทรีนในชุดดินผสมเปลือกถั่ว ( ชุดการทดลองที่ 6 )

จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4)

จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดดินผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 6)

**รูปที่ 4.15** ปริมาณสารฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนได้ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ ผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 4) และดินผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

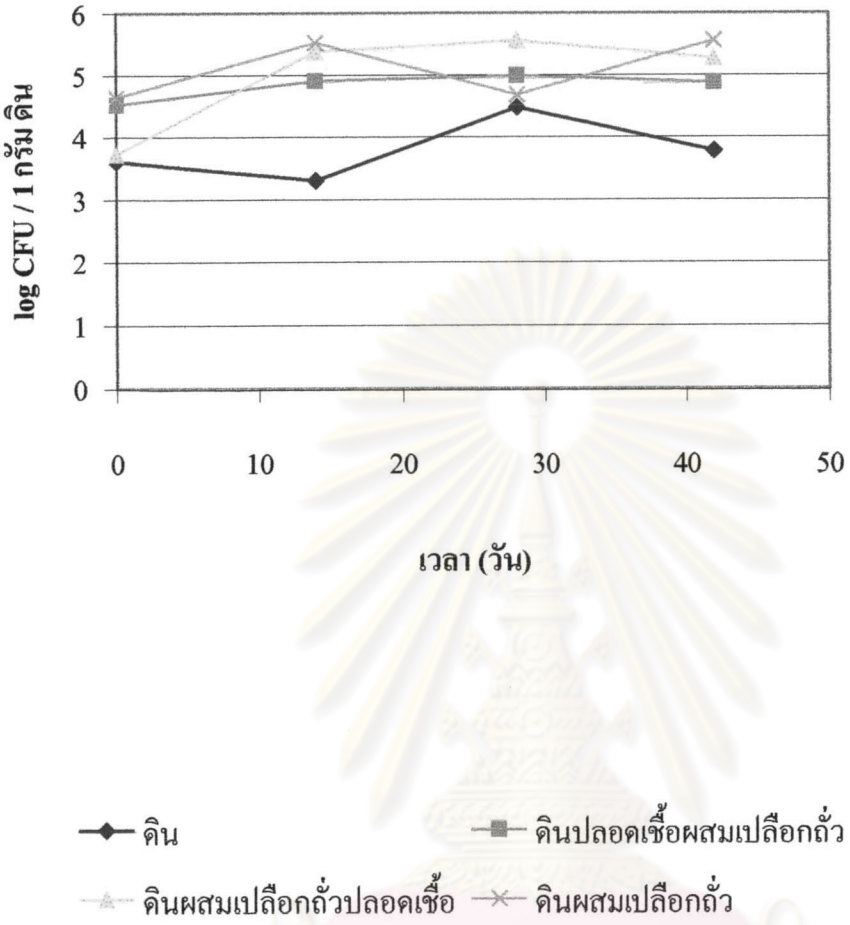
จากรูปที่ 4.15 การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในวันที่ 14 ของการทดลอง จะสอดคล้องกับปริมาณฟีแนนทรีนที่เริ่มลดลงในวันที่ 14 เช่นเดียวกัน โดยที่การลดลงของฟีแนนทรีนในดินผสมเปลือกถั่วจะลดลงได้รวดเร็วกว่าในดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว

**ตารางที่ 4.5** แสดงจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมเปลือกถั่วระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน

| ชุดการทดลอง | จำนวนรา ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 4.05 | 2 | 30 | 6 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม เปลือกถั่ว | 33 | 79.5 | 98 | 75 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่วปลอดเชื้อ | 5.2 | 240 | 360 | 190 |
| ดิน ผสม เปลือกถั่ว | 43.5 | 335 | 48 | 360 |

จากตารางที่ 4.5 จำนวนราเริ่มต้นที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆ เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ดินผสมเปลือกถั่ว ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดิน ที่จำนวน $4.35 \times 10^4$ , $3.3 \times 10^4$ , $5.2 \times 10^3$ และ $4.05 \times 10^3$ CFU ต่อ ดิน 1 กรัม ตามลำดับ โดยจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆ จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากวันแรกของการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.16

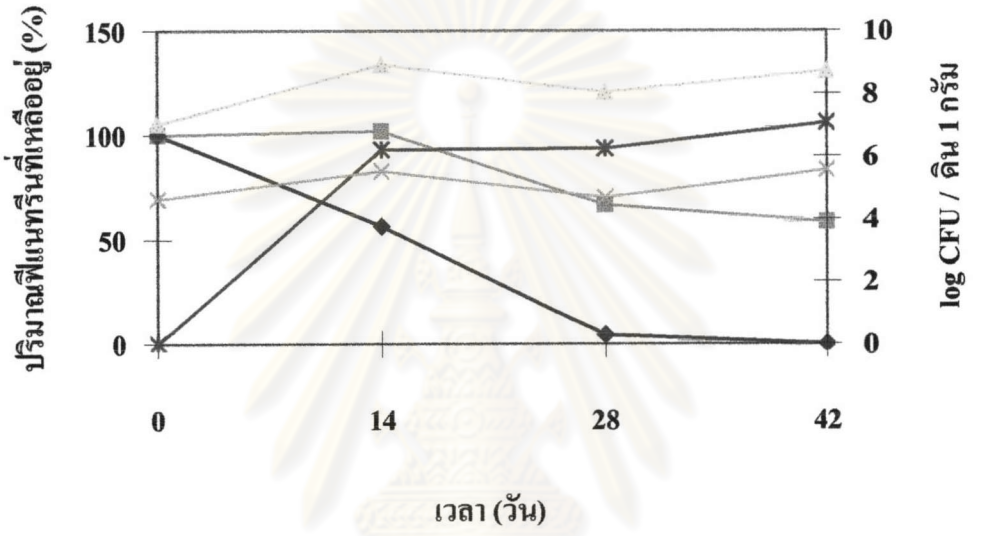
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




**รูปที่ 4.16** การเปลี่ยนแปลงจำนวนราในชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของเปลือกถั่ว (ดิน ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่ว ดินผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และดินผสมเปลือกถั่ว) ในช่วงระยะเวลา 42 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นจะเห็นว่าในการลดลงของฟีแนนทรีนมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แต่สำหรับรานั้นยังสังเกตความสัมพันธ์ไม่ได้ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟีแนนทรีนในชุดควบคุม (ดินปลอดเชื้อผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ) ในระหว่างการทดลอง 0 –42 วัน ได้รูปแบบการย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดการทดลอง ดินผสมเปลือกถั่ว แสดงดังรูปที่ 4.17




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.17** แสดงการลดลงของฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินผสมเปลือกถั่ว (ชุดการทดลองที่ 6) และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด รวมทั้งจำนวนรา

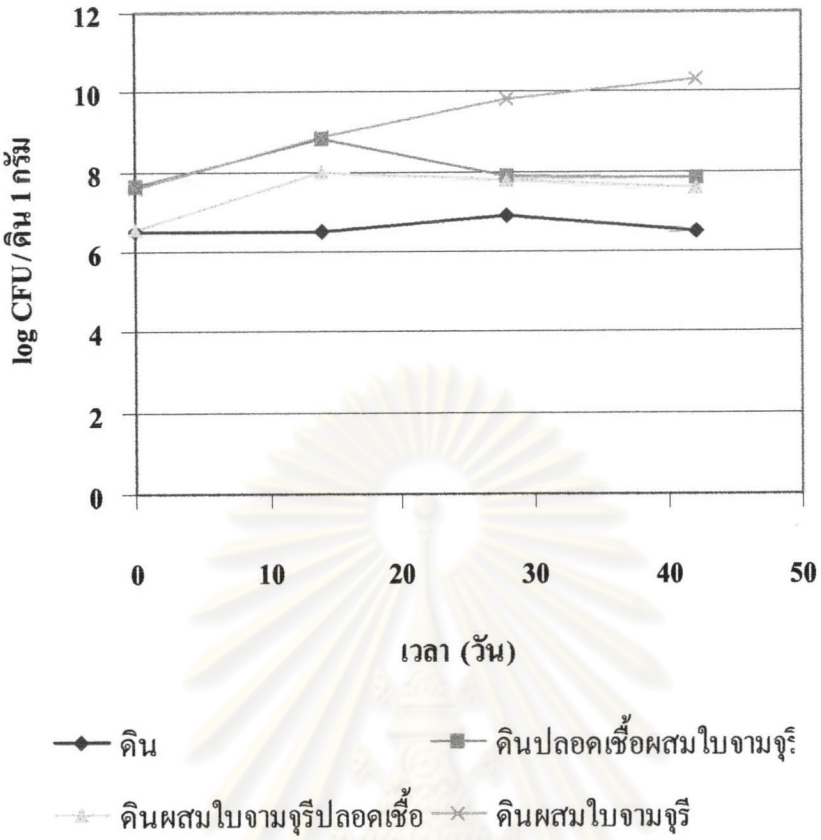
### 4.3.3.2 การตรวจหาจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่มีปัจจัยชีวภาพของการทดลองการเร่งการสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรี

โดยทำการทดลองตรวจนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีน และจำนวนรา ในชุดการทดลองต่างๆในระหว่างการทดลอง 0 –42 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6, 4.7 และ4.8

**ตารางที่ 4.6** แสดงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0 - 42 วัน

| ชุดการทดลอง | จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^6$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 3 | 3 | 8 | 3.1 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม ใบจามจุรี | 42 | 635 | 75.5 | 72 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรีปลอดเชื้อ | 3.5 | 91.5 | 61 | 37 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรี | 38 | 735 | 6600 | 20000 |

จากตารางที่ 4.6 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบนอาหารแข็ง LB ในช่วงวันแรกของการทดลองเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยในชุดการทดลองต่างๆ ดังนี้ ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดิน โดยมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ $4.2 \times 10^7$, $3.8 \times 10^7$, $3.5 \times 10^6$ และ$3.0 \times 10^6$ CFU / ต่อ ดิน 1 กรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในระยะเวลา 42 วัน จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในชุดการทดลองดินผสมใบจามจุรี จะมีจำนวนมากขึ้นจากวันแรกที่เริ่มต้นการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.18




**รูปที่ 4.18** แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในชุดทดลองต่างๆ ที่ศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของใบจามจุรี ซึ่งประกอบด้วย ดิน ดินปลอดเชื้อ ผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดินผสมใบจามจุรี ในช่วงระยะเวลา 42 วัน

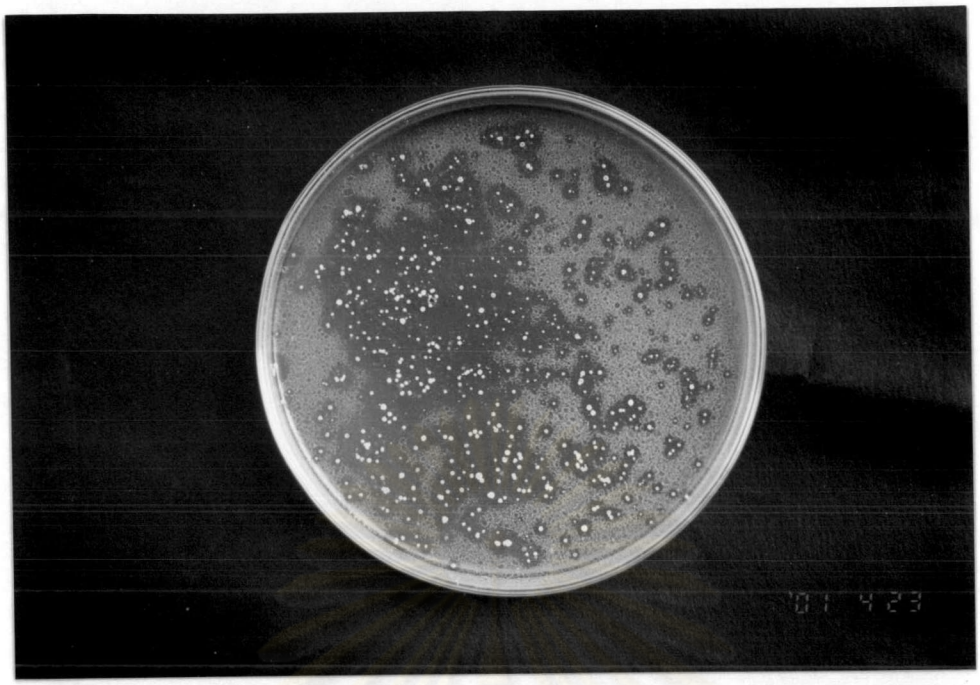
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 4.7** แสดงจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs ที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน

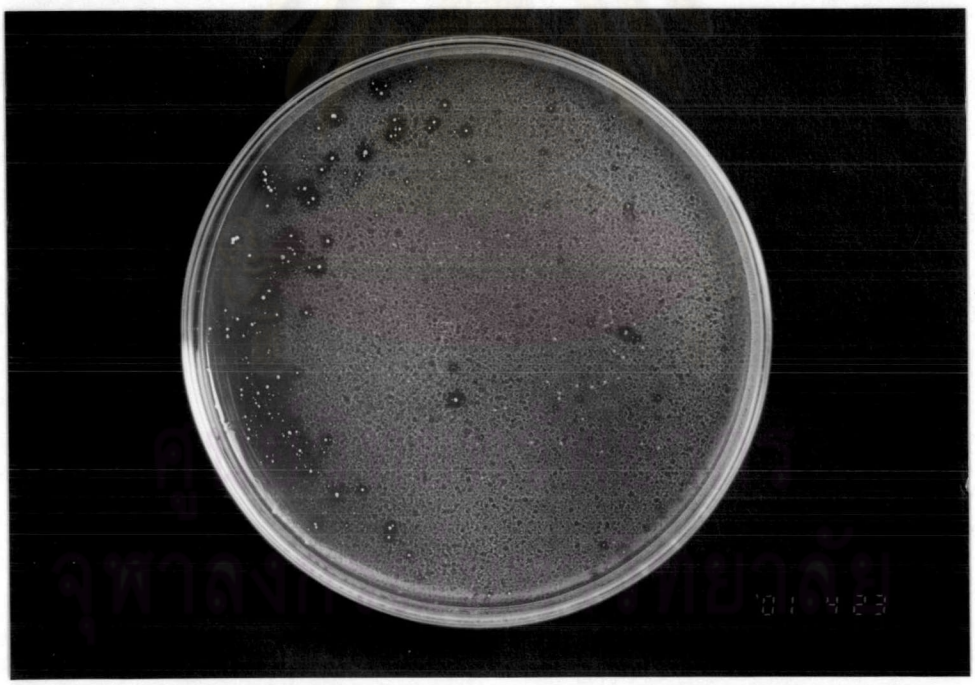
| ชุดการทดลอง | จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีน ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^6$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม ใบจามจุรี | 0 | 0 | 0.08 | 0.026 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรีปลอดเชื้อ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรี | 0 | 1.0 | 0.28 | 2.72 |

จากตารางที่ 4.7 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนจะตรวจนับบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วยฟีแนนทรีน ในชุดการทดลองต่างๆ ที่มีปัจจัยทางชีวภาพได้แก่ ดิน ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดินผสมใบจามจุรี จากการทดลองจะตรวจพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนสร้างบริเวณใสล้อมรอบโคโลนี ได้เฉพาะในชุดการทดลองที่มีปัจจัยชีวภาพจากใบจามจุรีเท่านั้น ได้แก่ ชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี และดินผสมใบจามจุรี แสดงดังรูปที่ 4.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



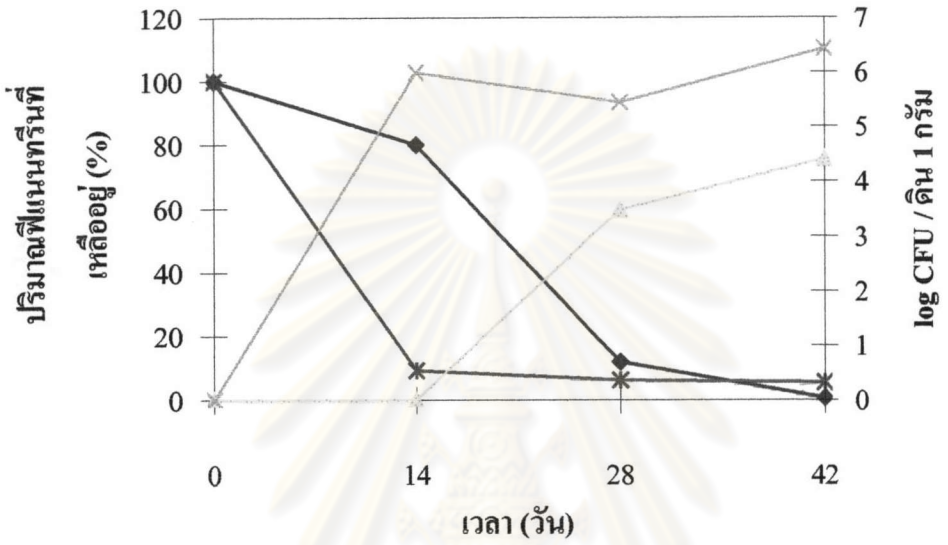
(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.19** แสดงลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนซึ่งสร้างบริเวณใส รอบโคโลนีบนอาหารแข็ง CFMM ที่พ่นทับด้วย ฟีแนนทรีน โดยแยกได้จากชุดการทดลอง ดินผสมใบจามจุรี (ก) และ ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ข)

ในวันแรกของการทดลองจะตรวจไม่พบแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนทั้งในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมเลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี โดยเริ่มตรวจพบในวันที่ 14 และ 28 ของชุดการทดลองดินผสมใบจามจุรี และดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ตามลำดับ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 42 ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี และชุดดินผสมใบจามจุรี มีจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนมีจำนวนเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.20




ปริมาณฟีแนนทรีนในชุดดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4)

ปริมาณฟีแนนทรีนในชุดดินผสมใบจามจุรี ( ชุดการทดลองที่ 6 )

จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4)

จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดดินผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 6)

**รูปที่ 4.20** ปริมาณฟีแนนทรีนที่เหลืออยู่ และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนได้ในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อ ผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 4) และดินผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

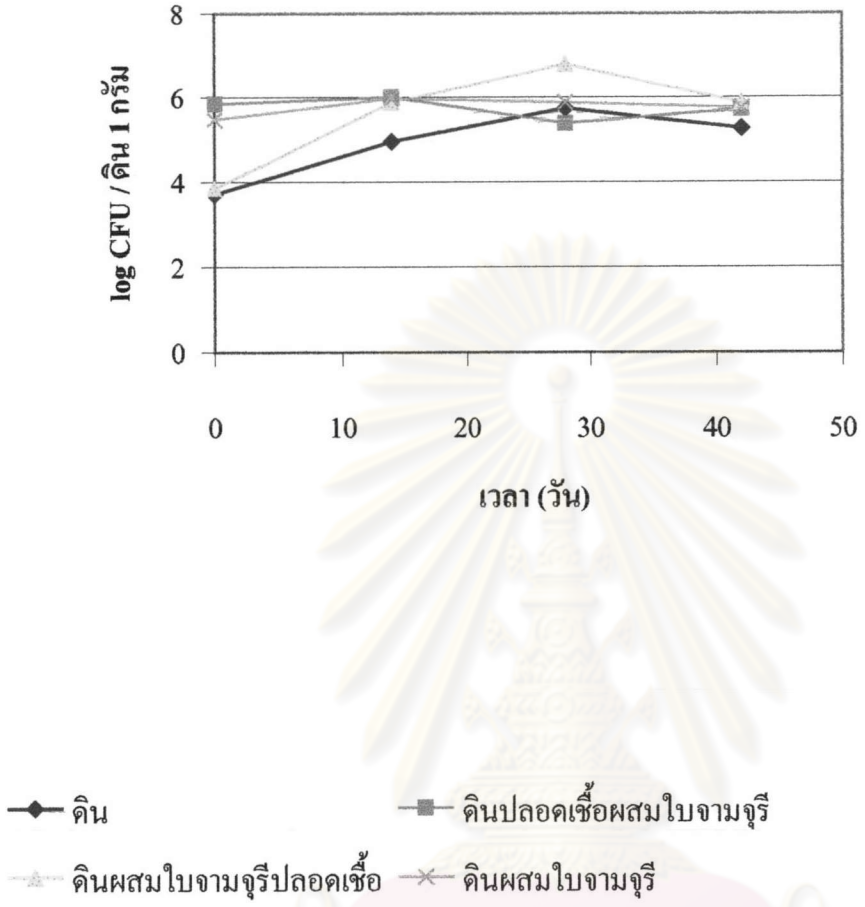
จากรูปที่ 4.20 ดินผสมใบจามจุรีมีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในวันที่ 14 ของการทดลอง จะสอดคล้องกับปริมาณฟีแนนทรีนที่เริ่มลดลงในวันที่ 14 และในดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ตรวจพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนในวันที่ 28 สอดคล้อง กับปริมาณฟีแนนทรีนที่เริ่มลดลงในวันที่ 28 เช่นกัน

**ตารางที่ 4.8** แสดงจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆของการศึกษาการเร่งสลายสาร PAHs เมื่อเติมใบจามจุรีระหว่างการทดลอง 0- 42 วัน

| ชุดการทดลอง | จำนวนรา ( CFU / ดิน 1 กรัม x $10^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 14 วัน | 28 วัน | 42 วัน |
| ดิน | 5 | 89 | 645 | 183 |
| ดินปลอดเชื้อ ผสม ใบจามจุรี | 695 | 1020 | 240 | 520 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรีปลอดเชื้อ | 7 | 750 | 6000 | 760 |
| ดิน ผสม ใบจามจุรี | 300 | 955 | 760 | 570 |

จากตารางที่ 4.8 จำนวนราเริ่มต้นที่ตรวจพบในชุดการทดลองต่างๆ ที่มีปัจจัยชีวภาพเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรี ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดิน ที่จำนวน $6.95 \times 10^5$, $3 \times 10^5$ , $7 \times 10^3$ และ $5 \times 10^3$ CFU ต่อ ดิน 1 กรัม ตามลำดับ โดยจำนวนราที่ตรวจพบในชุดการทดลองดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี และดินผสมใบจามจุรี จะมีจำนวนคงที่จากวันแรกของการทดลอง ขณะที่ ดินผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ และดินจะมีจำนวนราเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.21

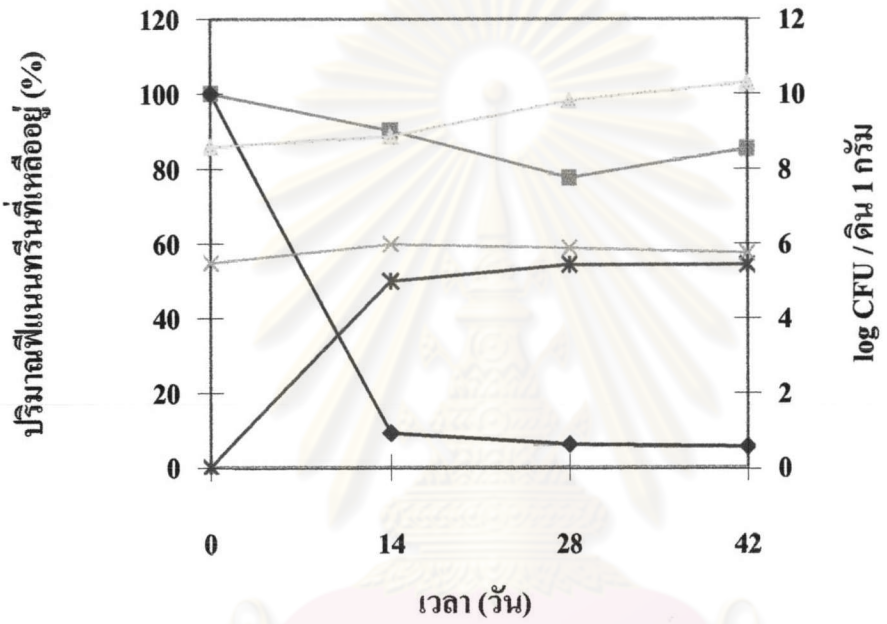
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.21** การเปลี่ยนแปลงจำนวนราในชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาการเร่งการสลายสาร PAHs ของใบจามจุรี (ดิน ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรี ดินผสมจามจุรีปลอดเชื้อ และดินผสมใบจามจุรี) ในช่วงระยะเวลา 42 วัน

ดังนั้นจะเห็นว่าในการลดลงของฟีแนนทรีนมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แต่สำหรับรานั้นยังสังเกตความสัมพันธ์ไม่ได้ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟีแนนทรีนในชุดควบคุม (ดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีปลอดเชื้อ) ในระหว่างการทดลอง 0 –42 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นรูปแบบการย่อยสลายฟีแนนทรีนในชุดการทดลอง ดินผสมใบจามจุรี แสดงดังรูปที่ 4.22




**รูปที่ 4.22** แสดงการลดลงของฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินผสมใบจามจุรี (ชุดการทดลองที่ 6) และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟีแนนทรีนที่เพิ่มขึ้น จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด รวมทั้งจำนวนรา

จากรูปที่ 4.18 ในวันแรกที่ทำการทดลองจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในดินปลอดเชื้อผสมใบจามจุรีมีจำนวนมากกว่า ดิน แสดงว่าใบจามจุรีมีแบคทีเรียจำนวนมาก และเมื่อเติมสารอินทรีย์จากใบจามจุรีปลอดเชื้อทำให้แบคทีเรียในดินเพิ่มจำนวนขึ้น และเมื่อในชุดทดลองดินผสมใบจามจุรีมีแหล่งแบคทีเรียท้องถิ่นจากดิน และใบจามจุรีจะตรวจพบจำนวนแบคทีเรียในดินผสมใบจามจุรี ณ วันสุดท้ายของการทดลอง มีจำนวนมากว่าชุดการทดลองอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียจากใบจามจุรี และแบคทีเรียจากดินสามารถเจริญร่วมกันได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.4 การดูดซับสาร PAHs ในดินของเปลือกถั่ว และใบจามจุรี

สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดินเป็นเวลานานจะถูกดูดซับให้จับอยู่ในอนุภาคดินเป็นผลให้จำกัดการย่อยสลายทางชีวภาพ และมีผลต่อปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดินเมื่อใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (Kastner และ Mahro, 1996) ดังนั้นจึงได้ตรวจหาปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ เพื่อศึกษาความสามารถของเปลือกถั่ว และใบจามจุรีที่อาจช่วยลดการดูดซับดังกล่าว โดยการทดลองสกัดสาร PAHs จากเปลือกถั่วปลอดเชื้อ และใบจามจุรีปลอดเชื้อ ด้วยไดคลอโรมีเทน ที่ระยะเวลาการปนเปื้อนตั้งแต่ 0 – 80 วัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9

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

| วัสดุการเกษตร | เวลา (วัน) | ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ฟีแนนทรีน | ฟลูออแรนธีน | ไพรีน |
| เปลือกถั่ว | 0 | 100 | 100 | 100 |
| | 20 | 80.06 | 83.07 | 81.54 |
| | 40 | 49.56 | 57.26 | 59.63 |
| | 60 | 43.5 | 59.67 | 66.65 |
| | 80 | 41.54 | 59.16 | 62.55 |
| ใบจามจุรี | 0 | 100 | 100 | 100 |
| | 20 | 100.5 | 95.9 | 90.91 |
| | 40 | 84.05 | 77.94 | 76.62 |
| | 60 | 80.9 | 68.7 | 69.71 |
| | 80 | 77.41 | 62.5 | 64.67 |

หมายเหตุ ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ในวันแรกของการทดลอง คิดเป็น 100 %
(ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ในวันแรกของการทดลองคิดเป็นมิลลิกรัม แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.9 พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 80 วัน ปริมาณสาร ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน จากเปลือกถั่ว ที่สกัดได้น้อยกว่าปริมาณจากใบจามจุรีตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อสาร PAHs ปนเปื้อนเป็นระยะเวลานาน เราสามารถสกัดสาร PAHs จากใบจามจุรีได้ง่ายกว่าสกัดจากเปลือกถั่ว

เนื่องจากดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs เป็นระยะเวลานาน สาร PAHs จะถูกดูดซับไว้ในอนุภาคดินทำให้จำกัดปริมาณ PAHs ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Hatzinger และAlexander, 1995 ) จากรายงานดังกล่าวจึงได้ทดลองทำให้ดินปลอดเชื้อปนเปื้อนด้วยสาร ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน แล้วจึงนำมาผสมเปลือกถั่วปลอดเชื้อ หรือใบจามจุรีปลอดเชื้อทันที บ่มเป็นระยะเวลา 60 วัน หลังจากนั้นนำมาสกัด ได้ผลปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดที่สกัดได้ จากดิน ดินผสมเปลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 4.10** เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีน ที่สกัดได้ด้วยไดคลอโรมีเทนในชุดการทดลองปลอดเชื้อ ได้แก่ ดิน ดินผสมเปลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี โดยการผสมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีลงในดินทันที ตั้งแต่วันแรกที่ทำให้ดินปนเปื้อน PAHs แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 60 วัน

| ชุดการทดลอง | เวลา (วัน) | ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ฟีแนนทรีน | ฟลูออแรนธีน | ไพรีน |
| ดิน | 0 | 100 | 100 | 100 |
| | 7 | - | - | - |
| | 14 | - | - | - |
| | 21 | 59.95 | 83.07 | 81.54 |
| | 40 | 49.56 | 57.26 | 59.63 |
| | 60 | 41.54 | 59.16 | 62.55 |
| ดินผสมเปลือกถั่ว | 0 | 100 | 100 | 100 |
| | 7 | 70.23 | 73.2 | 74.83 |
| | 14 | 69.58 | 71.69 | 72.05 |
| | 21 | 67.16 | 65.66 | 65.8 |
| | 40 | 51.78 | 54.06 | 56.35 |
| | 60 | 36.62 | 43.52 | 47.03 |
| ดินผสมใบจามจุรี | 0 | 100 | 100 | 100 |
| | 7 | 102.95 | 100.3 | 99.12 |
| | 14 | 91.03 | 86.77 | 85.25 |
| | 21 | 106.53 | 102 | 98.82 |
| | 40 | 73.57 | 82.72 | 85.1 |
| | 60 | 82.92 | 80.59 | 81.07 |

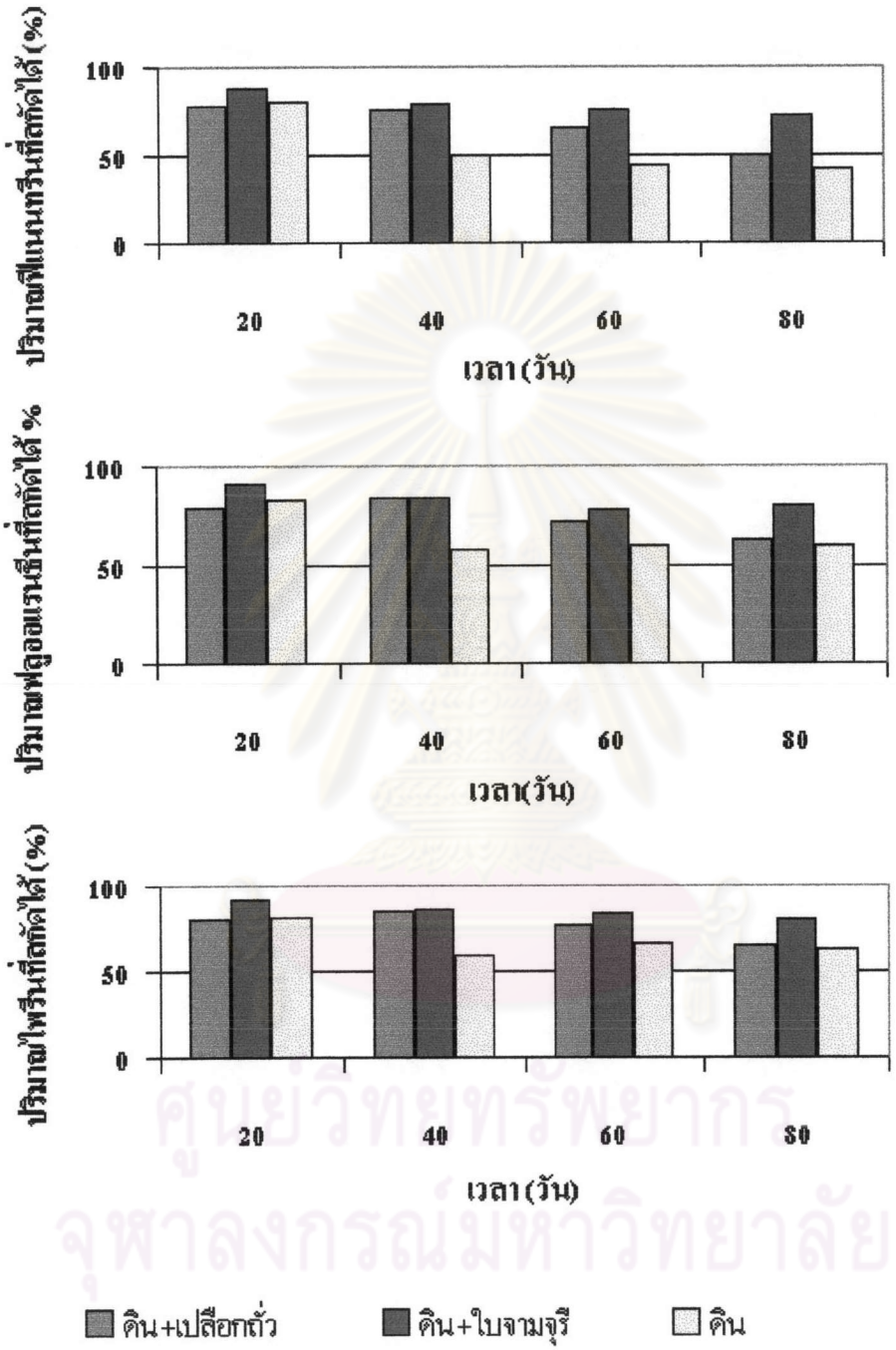
หมายเหตุ * ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้ในวันแรกของการทดลอง คิดเป็น 100 %

\- ไม่ได้ทำการทดลอง

จากตารางที่ 4.10 เมื่อนำดินที่ทำให้ปนเปื้อนสาร PAHs แล้วผสมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีลงไปในดินทันที ตั้งแต่วันที่เริ่มต้นการทดลอง แล้วบ่มไว้ระยะเวลา 60 วัน ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดที่สกัดได้จากดิน และจากดินผสมเปลือกถั่ว มีเปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนในดินผสมใบจามจุรีจะสกัดสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดออกมาได้มากกว่า ดิน และดินผสมเปลือกถั่วอย่างชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

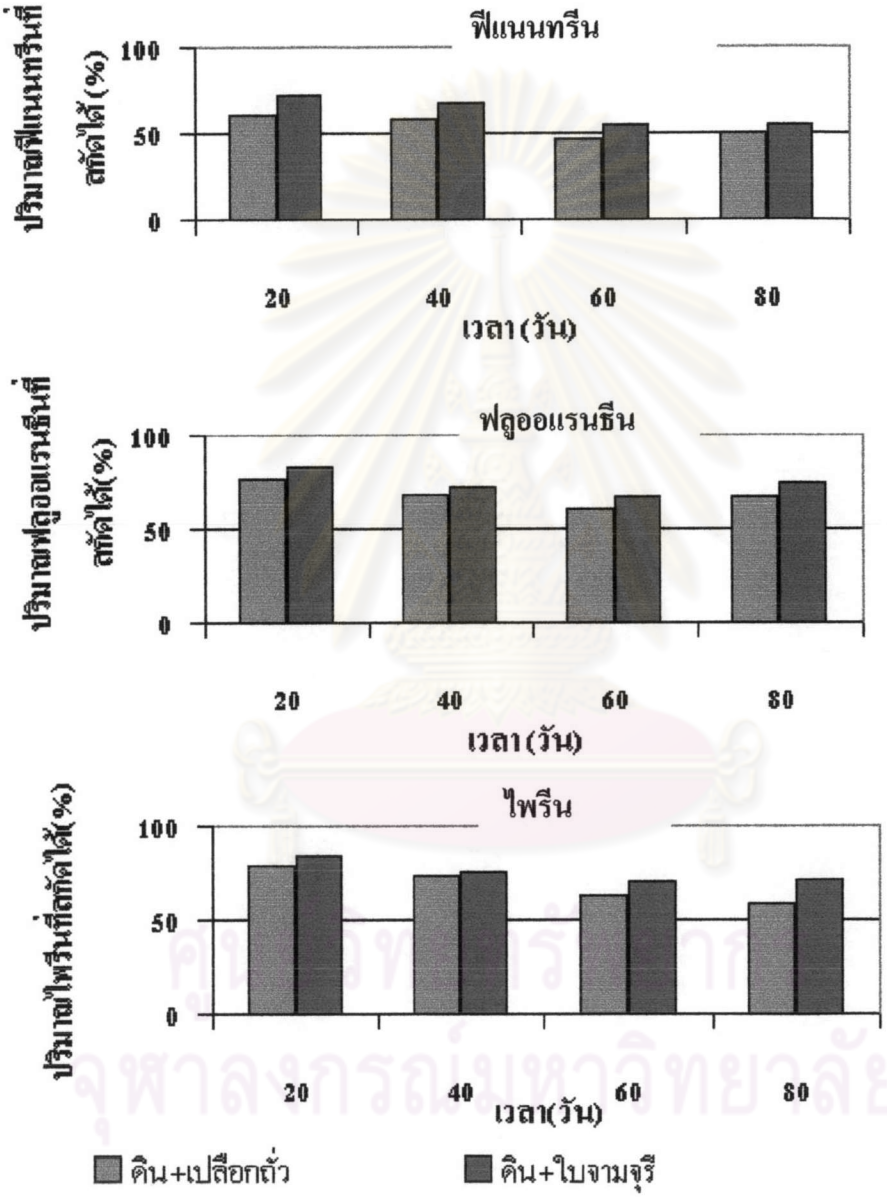
และเมื่อนำดินที่ทำให้ปนเปื้อนสาร PAHs มาก่อนที่ระยะเวลา 20, 40, 60 และ 80 วัน แล้วจึงนำมาผสมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีปลอดเชื้อ แล้วนำมาสกัดสามารถสกัดสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิด ออกมาจากดินผสมใบจามจุรีได้มากกว่าดินผสมเปลือกถั่ว และดิน ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.23




**รูปที่ 4.23** เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่สกัดได้จากดิน ดินผสมเปลือกถั่ว และดินผสมใบจามจุรี เมื่อนำดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs เป็นเวลานาน 20,40,60 และ 80 วัน มาเติมเปลือกถั่ว และใบจามจุรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.23 การเติมใบจามจุรี และเปลือกถั่วอาจช่วยลดการดูดซับสาร PAHs ในดินที่ปนเปื้อนมาเป็นเวลานาน 20 40 60 และ 80 วันได้ โดยที่ปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดินผสมเปลือกถั่วจะมีปริมาณน้อยกว่าการเติมใบจามจุรี และเมื่อนำดินที่ทำให้ปนเปื้อนสาร PAHs มาก่อนที่ระยะเวลา 20, 40, 60 และ 80 วัน แล้วจึงนำมาผสมเปลือกถั่วหรือใบจามจุรีปลอดเชื้อ บ่มทิ้งไว้อีกระยะเวลา 60 วัน พบว่า สามารถสกัดสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดออกมาจากดินผสมใบจามจุรีได้มากกว่าดินผสมเปลือกถั่ว ดังรูปที่ 4.24

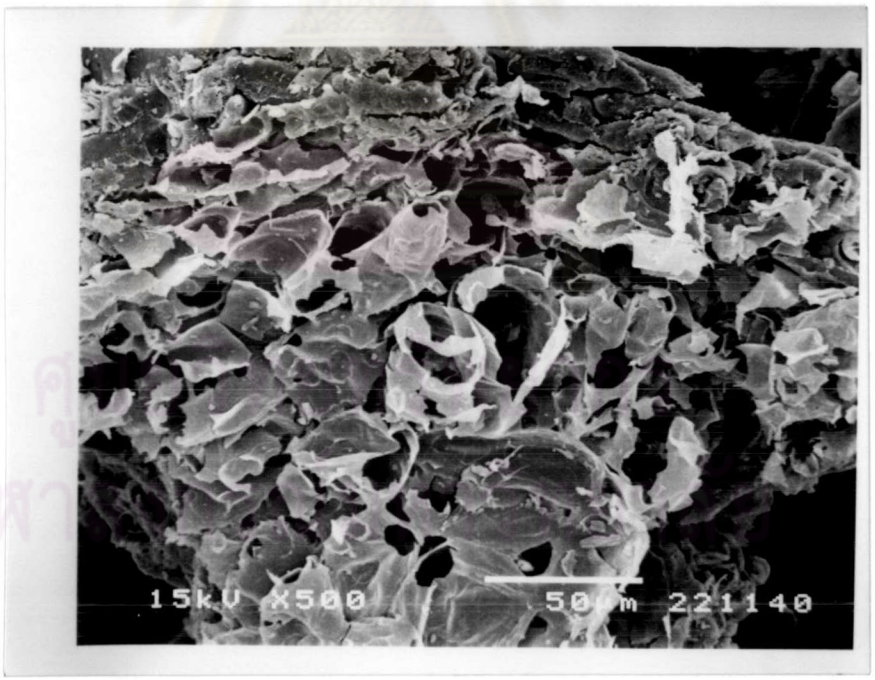



**รูปที่ 4.24** เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารฟีแนนทรีน ฟลูออแรนธีน และไพรีนที่สกัดได้ ด้วยไดคลอโรมีเทน จากดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs มาเป็นเวลา 20, 40, 60 และ 80 วัน นำมาเติมเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรี แล้วบ่มเก็บไว้อีก 60 วัน

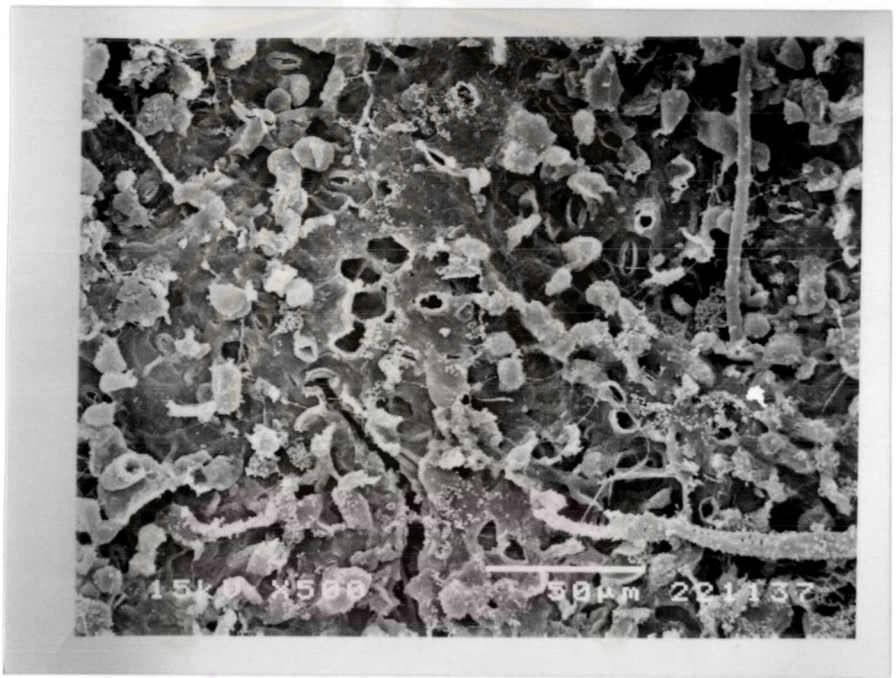
จากรูปที่ 4.24 เมื่อทำให้ดินปนเปื้อนด้วยสาร PAHs มาก่อนโดยมีระยะเวลาต่างกัน แล้วจึงนำมาเติมเปลือกถั่ว หรือ ใบจามจุรี บ่มทิ้งไว้ในสภาวะปลอดเชื้อ พบว่า สาร PAHs ที่สกัดได้จะลดลงไปตามระยะเวลา แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสาร PAHs ที่สกัดได้จากดินผสมใบจามจุรีจะมีปริมาณสูงกว่าจากดินผสมเปลือกถั่วตลอดการทดลอง โดยการดูดซับสาร PAHs เข้าไว้ในเปลือกถั่ว หรือใบจามจุรีอาจมีผลมาจากลักษณะโครงสร้างของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงได้นำเปลือกถั่ว และใบจามจุรีไปศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

## 4.4 ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของเปลือกถั่ว และใบจามจุรี

โดยนำเปลือกถั่วและใบจามจุรีที่บดและร่อนจากการทดลองนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ S.E.M. โดยทำการทดลองที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.25 , 4.26, 4.27 และ 4.28

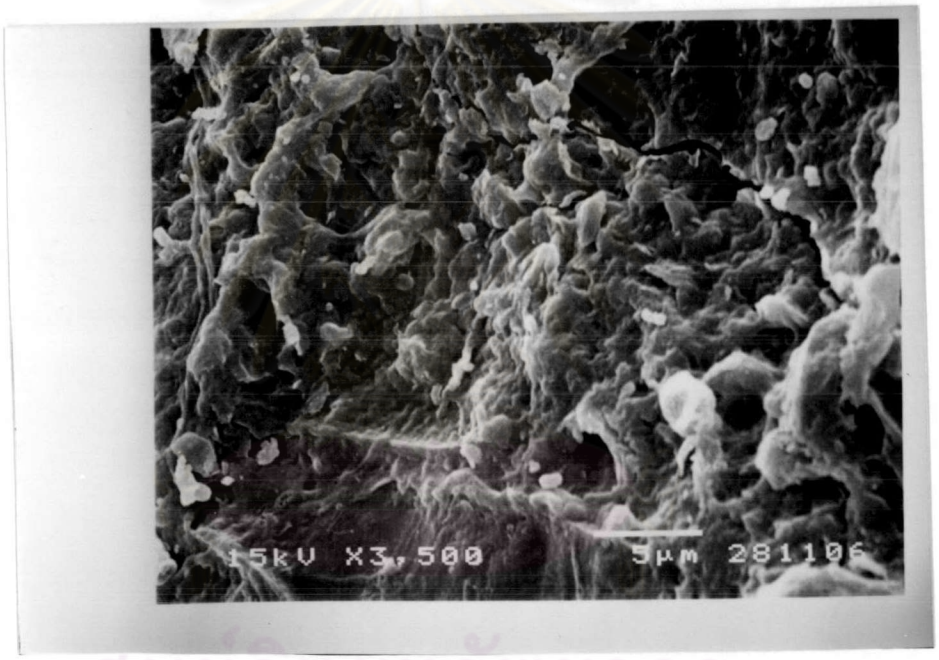



**รูปที่ 4.25** แสดงลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 500 เท่า



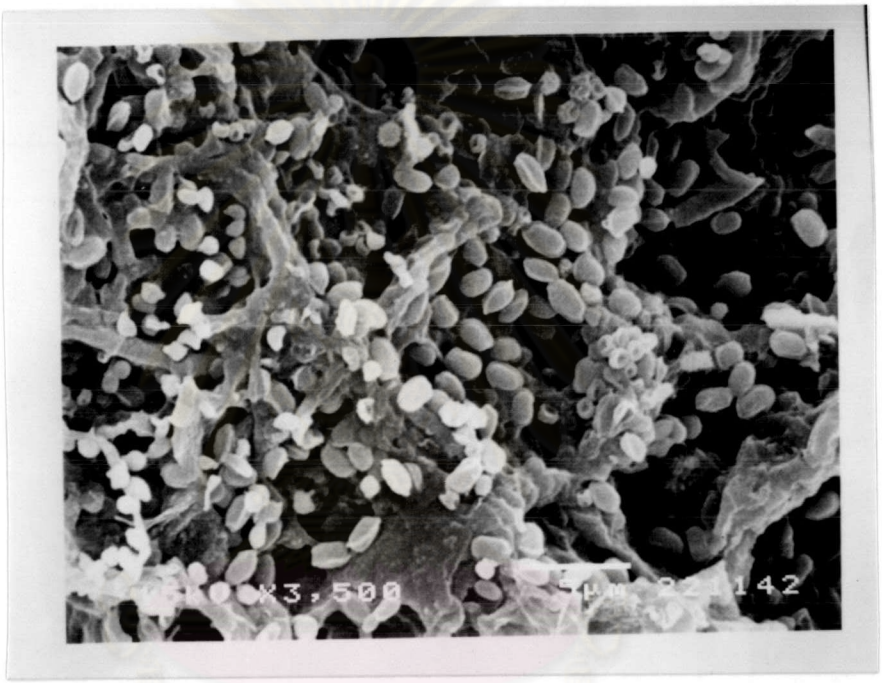

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.26** แสดงลักษณะพื้นผิวของใบจามจุรีภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 500 เท่า




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.27** แสดงลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 4.28** แสดงลักษณะพื้นผิวของใบจามจุรีภายใต้กล้อง S.E.M. ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 พื้นผิวของเปลือกถั่ว ขรุขระ มีลักษณะโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ มีรูพรุนล้อมรอบ และมีความซับซ้อน ส่วนพื้นผิวของใบจามจุรี มีพื้นผิวแบนราบ สลับกับมีรูพรุนเล็กน้อย และดูไม่ซับซ้อน จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 พบว่าใบจามจุรีมีสปอร์ของจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากที่พื้นผิว ซึ่งตรวจไม่พบบนพื้นผิวของเปลือกถั่ว