การใช้น้ำกากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำส้มสายชูชีวภาพ

นางสาวศุภัชญา ชนชนะชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOEXTRACT PREPARED FROM SLOP DISTILLERY WASTE

Miss Suphatchaya Chonchanachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500964

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้น้ำกากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำส้มสกัดชีวภาพ
โดย	นางสาวศุภัชญา ชนชนะชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภัชญา ชนชนะชัย : การใช้น้ำกากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำสกัดชีวภาพ. (BIOEXTRACT PREPARED FROM SLOP DISTILLERY WASTE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, 198 หน้า.

การศึกษาการใช้น้ำกากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำสกัดชีวภาพ ได้นำน้ำกากส่ามาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนแทนกากน้ำตาล โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่1 คือชุดควบคุมซึ่งเตรียมจากกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ชุดที่ 2 เตรียมจากกากน้ำตาลผสมกับน้ำกากส่า และชุดที่ 3 เตรียมจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว และได้แปรเปลี่ยนปริมาณน้ำกากส่าเป็น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เท่าของกากน้ำตาล โดยใช้เวลาหมักนาน 90 วัน และในแต่ละชุดทดลองมีวัตถุดิบเป็นเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าแทนกากน้ำตาลพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำน้ำสกัดชีวภาพของวัตถุดิบแต่ละประเภท ได้แก่ เศษผักบุ้งจีน 3 กก. : กากน้ำตาล 0.5 กก. : น้ำกากส่า 2.5 กก. : น้ำ 1 ลิตร : EM 0.15 ลิตร ที่เวลา 30 วัน เศษสับปะรด 3 กก. : น้ำกากส่า 2.5 กก. : น้ำ 1 ลิตร : EM 0.15 ลิตร ที่เวลา 30 วัน และเศษปลา 3 กก. : น้ำกากส่า 4.5 กก. : น้ำ 1.5 ลิตร : EM 0.2 ลิตร ที่เวลา 60 วัน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพพบว่าชุดควบคุมที่เตรียมจากกากน้ำตาลมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สูงที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่เตรียมจากกากน้ำตาลผสมกับน้ำกากส่า และชุดทดลองที่เตรียมจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ในน้ำสกัดชีวภาพพบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 0.09-1.49, 0.01-0.66 และ 0.42-1.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าซีโอดี พบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่มีวัตถุดิบเป็นเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา มีค่าซีโอดีเริ่มคงที่ที่เวลา 14, 56 และ 63 วัน ตามลำดับ ดังนั้นระยะเวลาสั้นที่สุดในการหมักน้ำสกัดชีวภาพคือวันที่ค่าซีโอดีเริ่มคงที่ซึ่งเป็นเวลาที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสมบูรณ์ และเนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพมีพีเอชค่อนข้างต่ำจึงควรเจือจางในอัตราส่วน 1:250 ก่อนนำไปใช้เพื่อมิให้เกิดผลเสียต่อพืช จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถนำน้ำกากส่ามาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....ศุภัชญา ชนชนะชัย.....
สาขาวิชา .....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2550

4870622721 : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : ANAEROBIC DIGESTION / BIOEXTRACT / COMPOST MATURITY / MOLASSES / SLOP DISTILLERY WASTE

SUPHATCHAYA CHONCHANACHAI : BIOEXTRACT PREPARED FROM SLOP DISTILLERY WASTE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 198 pp.

In this study, water spinach (*Impomoea aquatica*), pineapple (*Ananus comosus*) and fresh fish residual are raw materials to obtain the bioextract that used slop distillery waste instead of molasses as a carbon source. In the test experiment are divided in to 3 groups which are control sample (molasses), the second; the mixed of carbon sources (molasses and slop distillery waste) and the third; the carbon source used only slop distillery waste that vary volume of slop distillery in 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 times of molasses in the fraction. The anaerobic digestion of bioextract has time period 90 days.

The suitable fraction of bioextracts were sample of water spinach residual 3 kg : molasses 0.5 kg : slop distillery waste 2.5 kg : clean water 1 l : EM 0.15 l at 30 days, sample of pineapple residual 3 kg : slop distillery waste 2.5 kg : clean water 1 l : EM 0.15 l at 30 days, and sample of fresh fish residual 3 kg : slop distillery 4.50 kg : clean water 1.5 l : EM 0.20 l at 60 days. The control samples have the general characteristics of bioextract more than the sample were mixed of carbon source and samples that used only slop distillery waste The macro-nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium found 0.09-1.49, 0.01-0.66, and 0.42-1.07 percent by weight, respectively. The COD of bioextracts prepared from water spinach, pineapple and fresh fish residual rather constant at 14, 56, and 63 days, respectively. In case of apply the bioextract for agricultural, the optimum ratio that obtain the maximum compost maturity is 1:250. The result of this study provided that slop distillery can be used as a carbon source for bioextract process instead of molasses with any raw material.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department .....Environmental Engineering.... Student's signature Suphatchaya Ch.

Field of study ...Environmental Engineering.... Advisor's signature T. Srisatit

Academic year 2550

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และอาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิจัยของห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ครูวรรณธนา วงษ์สุด ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานในห้องปฏิบัติการมูลฝอยและหน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม และบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนด้านเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทั้งในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ไม่อาจกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย แนะนำการใช้เครื่องมือ และให้ความรู้ด้านต่างๆ อีกมากมาย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัวที่เป็นผู้ช่วยส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจดีๆ ให้กับผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญภาพ..... ฌ

สารบัญตาราง..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 น้ำสกัดชีวภาพ..... 5

2.2 น้ำกากส่า..... 18

2.3 กากน้ำตาล..... 26

2.4 การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน..... 32

2.5 การย่อยสลายที่สมบูรณ์..... 38

2.6 ธาตุอาหาร..... 39

2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน..... 46

2.8 ปุ๋ยอินทรีย์..... 47

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 50

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 57

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 57

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย..... 58

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 68
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า..... 68
4.2 การกำหนดอัตราส่วนต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ..... 69
4.3 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ..... 73
4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในน้ำสกัดชีวภาพ..... 83
4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน..... 93
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพ..... 97
4.7 ผลการวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพ..... 99
4.8 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช..... 100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 104
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 104
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 107
รายการอ้างอิง..... 108
ภาคผนวก..... 114
ภาคผนวก ก วิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช..... 115
ภาคผนวก ข มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับน้ำสกัดชีวภาพ..... 117
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า.. 128
ภาคผนวก ง ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ..... 130
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 198

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล..... 19

รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลและแอลกอฮอล์รวมทั้งการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต..... 28

รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย..... 32

รูปที่ 2.4 ลักษณะที่เป็นขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน..... 34

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไร้ออกซิเจน..... 36

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 59

รูปที่ 3.2 กากน้ำตาลและน้ำกากส่า..... 61

รูปที่ 3.3 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย..... 61

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการทำน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย..... 62

รูปที่ 3.5 ถังหมักน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย..... 62

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช..... 65

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเก็บน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย..... 66

รูปที่ 4.1 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน..... 74

รูปที่ 4.2 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด..... 75

รูปที่ 4.3 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา..... 76

รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน..... 77

รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด..... 79

รูปที่ 4.6 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา..... 80

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพ..... 82

รูปที่ 4.8 ค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (W1) เศษสับปะรด (P1) และเศษปลา (F1)..... 83

รูปที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 85

รูปที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 87

รูปที่ 4.11 ปริมาณโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 91
รูปที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพตามระยะเวลาการหมัก..... 92
รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 94
รูปที่ 4.15 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ..... 96
รูปที่ 4.16 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพ..... 98
รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานของฟอสฟอรัส..... 141
รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียม..... 147

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ..... 9

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ 100 กรัม..... 10

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย..... 21

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานสุราต่างๆ..... 22

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของกากน้ำตาล..... 31

ตารางที่ 2.6 อาการขาดธาตุอาหารและอาการเป็นพิษของพืชจากการได้รับธาตุอาหาร มากเกินไป..... 44

ตารางที่ 2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบสารอินทรีย์..... 47

ตารางที่ 2.8 รายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์..... 49

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า..... 60

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ..... 64

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า..... 68

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย..... 70

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการลดลงของมวลตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพที่เกิด จากการเก็บตัวอย่าง..... 72

ตารางที่ 4.4 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพ..... 99

ตารางที่ 4.5 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิต จากเศษผักบุ้งจีนไปใช้กับพืช..... 100

ตารางที่ 4.6 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิต จากเศษสับปะรดไปใช้กับพืช..... 101

ตารางที่ 4.7 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิต จากเศษปลาไปใช้กับพืช..... 102

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพจากการวิจัย..... 106

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม..... 106

ตารางที่ ค-1 ค่าพีเอช ความนำไฟฟ้า บีโอดี ซีโอดี และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของ กากน้ำตาลและน้ำกากส่า..... 128

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง หน้า

ตารางที่ ค-2 ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า 128
ตารางที่ ค-3 ค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า 129
ตารางที่ ง-1 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7 130
ตารางที่ ง-2 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง P1-P7 131
ตารางที่ ง-3 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง F1-F7 132
ตารางที่ ง-4 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7 133
ตารางที่ ง-5 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง P1-P7 134
ตารางที่ ง-6 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง F1-F7 135
ตารางที่ ง-7 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก 136
ตารางที่ ง-8 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก 137
ตารางที่ ง-9 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก 138
ตารางที่ ง-10 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก 139
ตารางที่ ง-11 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก 140
ตารางที่ ง-12 ค่าฟอสฟอรัสมาตรฐานของน้ำสกัดชีวภาพ 141
ตารางที่ ง-13 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก 142
ตารางที่ ง-14 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก 143
ตารางที่ ง-15 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก 144
ตารางที่ ง-16 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก 145
ตารางที่ ง-17 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก 146
ตารางที่ ง-18 ค่าโพแทสเซียมมาตรฐานของน้ำสกัดชีวภาพ 147
ตารางที่ ง-19 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก 148
ตารางที่ ง-20 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก 149
ตารางที่ ง-21 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก 150
ตารางที่ ง-22 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก 151
ตารางที่ ง-23 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก 152
ตารางที่ ง-24 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก 153

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง หน้า

ตารางที่ ง-25 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 45 ของการหมัก..... 154
ตารางที่ ง-26 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 60 ของการหมัก..... 155
ตารางที่ ง-27 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 75 ของการหมัก..... 156
ตารางที่ ง-28 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 90 ของการหมัก..... 157
ตารางที่ ง-29 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก..... 158
ตารางที่ ง-30 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก..... 159
ตารางที่ ง-31 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก..... 160
ตารางที่ ง-32 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก..... 161
ตารางที่ ง-33 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก..... 162
ตารางที่ ง-34 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก..... 163
ตารางที่ ง-35 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก..... 166
ตารางที่ ง-36 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก..... 169
ตารางที่ ง-37 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก..... 172
ตารางที่ ง-38 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก..... 175
ตารางที่ ง-39 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 30 ของการหมัก..... 178
ตารางที่ ง-40 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 45 ของการหมัก..... 182
ตารางที่ ง-41 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 60 ของการหมัก..... 186
ตารางที่ ง-42 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 75 ของการหมัก..... 190
ตารางที่ ง-43 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 90 ของการหมัก..... 194

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดของเสียอุตสาหกรรมขึ้นหลากหลายประเภทและมีปริมาณมาก การกำจัดของเสียเหล่านี้เพียงอย่างเดียวจึงไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาเรื่องของเสียอุตสาหกรรม ดังนั้นการส่งเสริมการผลิตที่สะอาดในภาคการผลิตโดยลดการใช้วัสดุ ลดพลังงาน และลดมลพิษ เพิ่มศักยภาพการใช้ทรัพยากรหมุนเวียน การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ และการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานได้นานจะช่วยลดปัญหาในการกำจัดของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้น นอกจากจะช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องนำมากำจัดแล้วยังเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติที่ต้องนำมาใช้ในขบวนการผลิต ตลอดจนประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตและการกำจัดอีกด้วย

โรงงานสุรากลั่นเป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดของเสีย ซึ่งของเสียจากการผลิตแอลกอฮอล์ของโรงงานสุรา ได้แก่ กากส่า และน้ำกากส่า ในการผลิตสุราและแอลกอฮอล์จะใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งกากน้ำตาลเป็นน้ำตาลที่ไม่สามารถตกผลึกได้อีกจากกระบวนการผลิตน้ำตาล (Vlissidis และ Zouboulis, 1992) การผลิตแอลกอฮอล์ทำได้โดยการหมักกากน้ำตาลโดยใช้ยีสต์ในการหมักก่อนจะนำเอาน้ำหมักมากลั่น (Hati และคณะ, 2006) ซึ่งส่วนที่เหลือจากการหมักนี้ก็คือส่วนที่เรียกว่า น้ำกากส่า (Slop distillery waste) เป็นน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มที่เกิดจากสีของคาลาเมล และส่วนใหญ่เป็นสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก หากปล่อยลงสู่แม่น้ำลำธารก็จะทำให้เกิดมลภาวะต่างๆ และสีของน้ำกากส่าจะไปลดความเข้มข้นของแสงในน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีพของทั้งพืชและสัตว์น้ำ (เลอวิทย์ ศรีบุญเรือง, ชนิกานต์ วิรัชติ และสมพร เจนคุณาวัฒน์, 2548) การผลิตสุราที่กำลังการผลิต 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะเกิดน้ำกากส่าโดยเฉลี่ยประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 150,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี (มาลี วิศวาจารย์, 2531) แม้ว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าจะมีความทันสมัยมากขึ้น เช่น มีการเติมอากาศเลี้ยงเชื้อตะกอนในถังตะกอนหรือการใช้ระบบตะกอนเร่ง แต่วิธีการดังกล่าวก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการควบคุมและค่าไฟในการเติมอากาศซึ่งเป็นต้นทุนที่สูงมาก อีกทั้งกระบวนการเหล่านี้เป็นเพียงกระบวนการลดระดับค่าบีโอดีและซีโอดีให้

ต่ำลง จนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเท่านั้น แต่สีน้ำตาลเข้มจากสารเมลานอยดินส่วนใหญ่ยังคงเหลืออยู่จึงต้องทำการบำบัดสีอีกขั้นตอนหนึ่งก่อน ซึ่งในปัจจุบันได้อาศัยวิธีการตกตะกอนสีด้วยสารเคมีหรือกระบวนการทางชีววิทยาในขณะที่ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดอยู่มาก (จักรินทร์ เพ็ชรงาม, กรศักดิ์ รัตตมณี และมณีรัตน์ ติรนันทกุล, 2547) ดังนั้นการนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า เช่น การนำมาผลิตก๊าซมีเทน (Banerjee และ Biswas, 2004) ผสมกับขานอ้อยทำปุ๋ย ผสมกับปุ๋ยหมัก รดดินเตรียมปลูกพืช (Jimenez, Borja และ Martin, 2004) เป็นต้น เนื่องจากในน้ำกากส่าประกอบด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช (Khaliq, Abbasi และ Hussain, 2006)

น้ำสกัดชีวภาพเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่เกิดจากเกษตรกรนำเศษพืช สัตว์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นไปหมักกับกากน้ำตาล และนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละท้องถิ่นจะมีการผลิตและการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของวัตถุดิบที่ใช้ กรรมวิธีการผลิต ตลอดจนวิธีใช้กับพืช และการใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น ใช้เป็นฮอร์โมนพืช ป้องกันกำจัดแมลงและโรค การกำจัดน้ำเสีย การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปศุสัตว์ เป็นต้น ปัจจุบันน้ำสกัดชีวภาพมีกระแสการผลิตและการใช้อย่างแพร่หลายในไร่ นา สวนผัก และสวนผลไม้ทั่วประเทศ มีทั้งที่ผลิตขึ้นใช้เองจากวัสดุเหลือใช้ในไร่ นา หรือจากการซื้อผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด มีการพัฒนาสูตรการผลิตมากมาย และจากการที่น้ำกากส่าเป็นของเสียที่ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก และน้ำสกัดชีวภาพใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ซึ่งได้มาจากการใช้น้ำตาลโดยตรงหรือการใช้กากน้ำตาลในการหมัก แต่ในการทำน้ำสกัดชีวภาพนิยมใช้กากน้ำตาลมากกว่าน้ำตาลเนื่องจากกากน้ำตาลมีราคาถูกกว่า ในปัจจุบันยังไม่มีการนำน้ำกากส่ามาใช้แทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำน้ำกากส่ามาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพแทนกากน้ำตาล หากงานวิจัยเป็นผลสำเร็จจะช่วยลดต้นทุนในการทำน้ำสกัดชีวภาพ และยังช่วยลดปัญหาการกำจัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นได้เป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยไม่ทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากน้ำกากส่าเปรียบเทียบกับน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาล

1.2.3 เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าซีโอดีตามระยะเวลาของการหมัก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 น้ำกากส่าที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำกากส่าจากโรงงานสุรากลั่น อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

1.3.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ จะใช้อัตราส่วนระหว่างเศษผักหรือเศษผลไม้หรือเศษปลา : กากน้ำตาลหรือน้ำกากส่า : น้ำ : หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Effective microorganism, EM) โดยเศษผักที่ใช้คือเศษผักบุ้งจีน (*Impomoea aquatica*) เศษผลไม้ที่ใช้คือเศษสับปะรด (*Ananus comocus*) และเศษปลาที่ใช้เป็นเศษหัว หาง และไส้ ของปลา

1.3.3 คุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากน้ำกากส่าของโรงงานสุราและกากน้ำตาลจากอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ คือ ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P_2O_5) โพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ตามระยะเวลาการหมักคือ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ตามลำดับ

1.3.4 การดำเนินไปของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย จะทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ คือ ซีโอดี และพีเอช ที่ระยะเวลาการหมักคือ 90 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.5 การทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพกับเมล็ดพืชคือ เมล็ดถั่วเขียว ด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืชตามการทดสอบของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่องปุ๋ยหมัก พ.ศ.2548

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำน้ำกากส่าจากโรงงานสุรามาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพแทนกากน้ำตาล ซึ่งเป็นการลดของเสียที่เกิดจากโรงงานสุรา

1.4.2 สามารถปรับปรุงน้ำสกัดชีวภาพให้มีธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพืชมากยิ่งขึ้นโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ

1.4.3 เป็นแนวทางการลดต้นทุนในการทำน้ำสกัดชีวภาพ โดยการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุรามาใช้แทนกากน้ำตาล อันเป็นทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำสกัดชีวภาพ (Bioextract)

2.1.1 ความหมายของน้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพ หรือน้ำหมักชีวภาพ คือ สารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเศษพืชหรือสัตว์ซึ่งถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำตาลหรือกากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ น้ำสกัดชีวภาพอาจมีสีน้ำตาลเข้มกรณีที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวหมัก หรือมีสีน้ำตาลอ่อนเมื่อใช้น้ำตาลชนิดอื่นเป็นตัวหมัก สารประกอบที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท (Carbohydrates) กรดอินทรีย์ (Organic acids) กรดอะมิโน (Amino acids) กรดฮิวมิก (Humic acid) ฮอร์โมน (Growth hormones) เอ็นไซม์ (Enzymes) วิตามิน (Vitamins) และแร่ธาตุ (Minerals) ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ (ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549)

2.1.2 ประเภทของน้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพสามารถแบ่งออกตามประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549) ได้แก่

2.1.2.1 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืช ผลิตจากเศษพืชผักต่างๆ เศษผลไม้ พืชสมุนไพร เศษอาหาร

2.1.2.2 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ ผลิตจากเศษปลา เศษหอย

2.1.3 การทำน้ำสกัดชีวภาพ

วิธีการและส่วนผสมในการทำน้ำสกัดชีวภาพนั้น ได้มีผู้คิดค้นไว้หลากหลายสูตร แต่ในที่นี้จะยกตัวอย่างการทำน้ำสกัดชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3.1 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืช

1) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษพืชผัก ผลไม้ โดยการนำเศษพืชผักหรือผลไม้มาผสมกับน้ำตาล ถ้าเศษพืชผักหรือผลไม้มีขนาดใหญ่ให้สับเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วจัดเรียงเป็นชั้นๆ โดยโรยน้ำตาลทับสลับกันกับเศษพืชผักหรือผลไม้ อัตราส่วนของน้ำตาลต่อเศษพืชผักหรือผลไม้เท่ากับ 1:3 หมักเศษพืชผักหรือผลไม้ในภาชนะที่มีฝาปิดปากกว้าง ในสภาพไม่มีอากาศ เมื่อบรรจุลงภาชนะเรียบร้อยแล้วให้ปิดฝาภาชนะนำไปตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม ปล่อยให้หมักต่อไปประมาณ 3-7 วัน จะเกิดของเหลวข้นสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมของสิ่งหมักเกิดขึ้น ของเหลวนี้เป็นน้ำหมักจากเซลล์พืชผักหรือผลไม้ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรท โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ และอื่นๆ การนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช ทำได้โดยนำไปเจือจางด้วยการผสมน้ำสกัดชีวภาพ 1 ส่วนต่อน้ำธรรมดา 100-1,000 ส่วน

2) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากขยะเปียก โดยการนำขยะเปียก ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ จำนวน 1 กิโลกรัม มาใส่ลงในถังหมัก แล้วใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปประมาณเศษ 1 ส่วน 20 ของปริมาตรของขยะ ปิดฝาภาชนะให้สนิท ภายในเวลา 10-14 วัน จะเกิดการย่อยสลายของขยะเปียกบางส่วนกลายเป็นน้ำสกัดชีวภาพ ส่วนปัญหาเรื่องกลิ่นกรณีที่ขยะมีเศษเนื้อสัตว์หรือมีเศษอาหารอยู่มากให้ใส่เปลือกสับปะรด มังคุด หรือกล้วยลงไปในถังหมักด้วย น้ำสกัดชีวภาพจะมีกลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นหมักเหล้าไวน์ วิธีการดังกล่าวจุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายขยะเปียกได้ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์จะกลายเป็นกากซึ่งสามารถนำไปใช้ในทางเกษตรได้ การนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืชทำได้เช่นเดียวกับน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษพืชผักหรือผลไม้

2.1.3.2 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์

1) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากปลา โดยการใช้เศษปลาสด อัตราส่วนใน 1 ถัง 200 ลิตร ประกอบไปด้วยเศษปลาสด 40 กิโลกรัม กากน้ำตาล 20 กิโลกรัม สารเร่งผลิตปุ๋ยหมัก 200 กรัม (วิธีการเตรียมสารเร่งผลิตปุ๋ยหมัก 200 กรัม (1 ซอง) ละลายสารเร่งผลิตปุ๋ยหมักในน้ำอุ่น 20 ลิตร คนให้เข้ากัน 15-30 นาที) นำเศษปลาสดและกากน้ำตาลที่เตรียมไว้ใส่ถัง 200 ลิตร และนำสารเร่งทำปุ๋ยหมักที่เตรียมเสร็จแล้วใส่ในถังรวมกับเศษปลาสดและกากน้ำตาล ใส่น้ำพอท่วมตัวปลา แล้วคนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ไม่ปิดฝา คนส่วนผสมในถังวันละ 4-5 ครั้ง ตลอดระยะเวลาในการหมักประมาณ 20-30 วัน เศษปลาจะย่อยสลายหมด เติมน้ำให้เต็มถังและคนให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปใช้ จะได้น้ำสกัดชีวภาพ

200 ลิตร ในการใช้น้ำสกัดชีวภาพกับพืชต้องนำน้ำสกัดชีวภาพไปเจือจางในน้ำก่อน คือ การใช้ฉีดพ่นทางใบ ใช้น้ำสกัดชีวภาพ 1 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร และการใช้ราดโคน ใช้น้ำสกัดชีวภาพ 1 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร

2) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ ซึ่งมีวัตถุดิบแตกต่างกัน

วิธีที่ 1 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ทั้งตัวพร้อมเปลือก นำตัวหอยเชอรี่ทั้งตัวมาทุบหรือบดให้ละเอียดจะได้หอยเชอรี่พร้อมเปลือกและน้ำจากตัวหอยเชอรี่ นำไปผสมกับน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 3:3:1 คนให้เข้ากันและนำไปบรรจุในถังหมักขนาด 30 ลิตร ปิดฝาทิ้งไว้ หากมีการแบ่งชั้นให้สังเกตดูว่ามีกลิ่นเหม็นหรือไม่ ถ้ามีกลิ่นเหม็นให้ใส่กากน้ำตาลเพิ่มขึ้นและคนให้เข้ากันจนกว่าจะหายเหม็น ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าจะไม่เกิดก๊าซให้เห็นบนผิวหน้าของน้ำสกัดหอยเชอรี่ บางครั้งอาจจะพบว่ามีตัวหนอนลอยบนผิวหน้าและบริเวณข้างถังภาชนะบรรจุ ควรรอจนกว่าตัวหนอนดังกล่าวตัวใหญ่เต็มที่และตายไป ถือว่าน้ำสกัดหอยเชอรี่ทั้งตัวเสร็จสิ้น สามารถนำไปใช้ได้หรือนำไปพัฒนาผสมกับปุ๋ยอื่นๆ ใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีที่ 2 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากไข่หอยเชอรี่ นำไข่หอยเชอรี่หรือกลุ่มไข่หอยเชอรี่มาทุบหรือบดให้ละเอียดจะได้น้ำไข่หอยเชอรี่พร้อมเปลือก แล้วนำไปผสมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 3:3:1 คนให้เข้ากันแล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

วิธีที่ 3 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากไข่หอยเชอรี่และพืช นำไข่หอยเชอรี่หรือกลุ่มไข่เชอรี่มาทุบหรือบดให้ละเอียดและนำไปผสมกับพืชส่วนที่อ่อนๆ หรือส่วนยอดความยาวไม่เกิน 6 นิ้ว หรือไม่เกิน 1 คืบ ที่หั่นหรือบดละเอียด แล้วนำไข่หอยละเอียดผสมกับกากน้ำตาล พืชส่วนอ่อนบดละเอียดและหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ ในอัตราส่วน 3:3:1 แล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

วิธีที่ 4 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากเนื้อหอยเชอรี่ นำตัวหอยเชอรี่ทั้งตัวมาต้มในกระทะ นำตัวหอยเชอรี่ทั้งตัวพร้อมทั้งใส่เกลือแกงผสมไปด้วยในจำนวนพอเหมาะ เพื่อให้เนื้อหอยเชอรี่แยกจากเปลือกได้ง่ายขึ้นและนำเฉพาะเนื้อหอยเชอรี่มาบดให้ละเอียดให้ได้จำนวน 3 ส่วน เพื่อผสมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 3:3:1 คนให้เข้ากันแล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกันกับวิธีที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีที่ 5 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากเนื้อหอยเชอรี่และพืชสด นำเนื้อหอยเชอรี่ที่ได้จากการต้มกับเกลือเหมือนวิธีที่ 4 มาบดให้ละเอียดแล้วนำไปผสมกับกากน้ำตาล พืชส่วนอ่อนบดละเอียดและหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ ในอัตราส่วน 3:3:1 ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

วิธีที่ 6 การทำน้ำสกัดชีวภาพจากเนื้อหอยเชอรี่ ไข่หอยเชอรี่ และพืชสด วิธีนี้เป็นการผสมปุ๋ยหมักแบบเบ็ดเสร็จ ไม่ต้องแยกวัสดุแต่ละชนิด ควรใช้อัตราส่วนดังนี้ เนื้อหอยเชอรี่พร้อมเปลือกหรือเนื้อหอยเชอรี่อย่างเดียว : ไข่หอยเชอรี่ : พืชอ่อน ในอัตราส่วน 3:3:5 – 6:2:3 มีข้อสังเกตเพียงดูว่ามีกลิ่นเหม็นหรือไม่ หากมีกลิ่นเหม็นให้เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มจนกว่าจะไม่กลิ่น จะใช้เวลานานเพียงใดให้ดูลักษณะผิวหน้าของน้ำสกัดเช่นเดียวกับการทำน้ำสกัดชีวภาพในวิธีที่ 1

อัตราการนำไปใช้กับพืชที่อายุน้อย ระยะการเจริญเติบโตแรกๆ ควรใช้อัตรา 1:500-10,000 หรือจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอัตราที่เหมาะสม คือ 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร สามารถใช้ได้นาน 7-10 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดอายุการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ว่าเป็นพืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ผล ไม้ยืนต้น พืชไร่ ข้าว เป็นต้น และควรระมัดระวังการนำไปใช้ราดหรือฉีดพ่นต้นพืช ซึ่งควรใช้ในอัตราส่วนที่เจือจางมาก (อัตราส่วนระหว่างน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาดที่แนะนำให้ใช้ คือ 1:500 หรือ 1:1,000) วิธีการใช้ที่ถูกต้องจะมีผลต่อดินและพืชที่นำไปราดหรือฉีดพ่นใส่ ควรใช้เพื่อช่วยเสริมการเจริญเติบโตให้กับต้นพืชหรือช่วยเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์และจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีอย่างอื่นๆ เช่น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยเคมีเข้าช่วย ซึ่งจะทำให้การใช้ได้ผลดีที่สุด ตลอดจนการดูแลปฏิบัติต่อพืชในด้านอื่นๆ ด้วย

2.1.4 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

คุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง ค่าความนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณธาตุอาหาร กรดอะมิโน และฮอร์โมนพืช (ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549) ดังนี้

2.1.4.1 ความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 3.5-5.6 ซึ่งมีค่าเป็นกรด ช่วง pH ที่เหมาะสมกับพืชคือ 6-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4.2 ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) มีค่าระหว่าง 2-12 desicemen/meter (ds/m) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายสูง ค่าที่เหมาะสมกับพืชควรมีค่าต่ำกว่า 4 ds/m

2.1.4.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) มีค่าระหว่าง 1/2 ถึง 70/1 ซึ่งถ้า C/N Ratio สูง เมื่อนำไปฉีดพ่นบนต้นพืชอาจแสดงอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจนได้

2.1.4.4 ธาตุอาหาร ปริมาณธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

พารามิเตอร์	น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืช	น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากปลา
1) ธาตุอาหารหลัก		
- ไนโตรเจน (% Total N)	0.03 – 1.66 %	1.06 - 1.70 %
- ฟอสฟอรัส (% Total P_2O_5)	0 - 0.4 %	0.18 - 1.14 %
- โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (% Water Soluble K_2O)	0.05 - 3.53 %	1.0 - 2.39 %
2) ธาตุอาหารรอง		
- แคลเซียม	0.05 - 0.49 %	0.29 - 1.0%
- แมกนีเซียมและซัลเฟอร์	0.1- 0.37 %	0.1- 0.37 %
3) ธาตุอาหารเสริม		
- เหล็ก	30 - 350 ppm	500 - 1,700 ppm
- คลอไรด์	2,000 - 11,000 ppm	2,000 - 11,000 ppm
- อื่น ๆ ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน และโมลิบดินัม	0 - 130 ppm	0 - 130 ppm

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4.5 กรดอะมิโน ปริมาณกรดอะมิโนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ 100 กรัม

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/100 กรัม
กรดแอสปาร์ติค	346.06
ทรีโอนีน	26.34
ซีรีน	39.30
กรดกลูตามิค	127.45
โปรลีน	1.26
ไกลซีน	13.24
อะลานีน	91.69
ซีสตีน	17.88
วาลีน	55.26
เมไทโอนีน	9.37
ไอโซลิวซีน	26.26
ลิวซีน	34.30
ไทโรซีน	22.14
ฟีนิลอะลานีน	4.44
ฮีสติดีน	16.28
ไลซีน	30.20
อาร์จินีน	18.76
ทริปโตเฟน	6.22

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าคุณภาพและประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ จุลินทรีย์ที่ทำให้ย่อยสลาย กระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์ ความเข้มข้นของสารละลาย และความเป็นกรดเป็นด่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกระบวนการหมัก

ระยะเวลาการหมักวัสดุเหลือใช้ลักษณะสดในสภาพที่เป็นของเหลวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมและปัจจัยของวัสดุที่ใช้ในการหมักด้วย ดังนั้น ปัจจัยบางประการจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพอัตราการย่อยสลายวัสดุหมัก (พงษ์ พฤกษา, 2548) ซึ่งมีดังนี้

2.1.5.1 ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุหมัก

วัสดุจากเศษปลาจะย่อยยากกว่าวัสดุจากเศษผักและผลไม้ เนื่องจากปลามีองค์ประกอบของโปรตีนและส่วนของกระดูกปลาซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานมากขึ้น ในขณะที่วัสดุหมักจากพืชจะใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นกว่า เนื่องจากองค์ประกอบของวัสดุหมักจากผักและผลไม้มีปริมาณเซลลูโลสต่ำ นอกจากนี้ในวัสดุผักหรือผลไม้ยังมีองค์ประกอบของน้ำตาลอยู่มากกว่าวัสดุประเภทเนื้อสัตว์ สารประกอบน้ำตาลนี้จะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการหมักได้ดี

2.1.5.2 ความอวบน้ำของวัสดุหมัก

วัสดุหมักที่มีความชื้นสูง หรืออวบน้ำจะทำให้กระบวนการหมักทางชีวภาพดำเนินการย่อยสลายได้ดี เช่น วัสดุเหลือใช้จากผักกาดขาว ฟักเขียว มะเขือเทศ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมักในสภาพที่เป็นของเหลวแล้ว ในช่วง 1–3 วันแรกของการหมักจะมีของเหลวออกมาจากวัสดุหมัก หรือถ้าเป็นวัสดุเหลือใช้จากผลไม้ เช่น แตงโม มะละกอ สับปะรด และส้ม วัสดุเหล่านี้จะมีความชื้นสูงประมาณ 70–90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สารละลายในวัสดุหมักปลดปล่อยออกมาได้รวดเร็ว ในกรณีของวัสดุเหลือใช้ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น ปลาหรือหอย สารละลายที่จะถูกสกัดออกมาจะใช้ระยะเวลานานกว่าพืชผักและผลไม้ เนื่องจากสัตว์มีองค์ประกอบของโมเลกุลซับซ้อนมากกว่าในเซลล์พืชและยังมีความชื้นต่ำกว่าเซลล์พืชอีกด้วย

2.1.5.3 แหล่งอาหารคาร์บอนของจุลินทรีย์

ในกระบวนการหมักใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์ในการดำเนินกิจกรรม น้ำตาลดังกล่าวอาจได้มาจากกากน้ำตาล น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายขาว น้ำอ้อยสด หรือน้ำตาลสด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5.4 การระบายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมัก ดังนั้นจึงไม่ควรปิดฝาถังหมักให้สนิทเพื่อเป็นการระบายก๊าซออกไป

2.1.5.5 ค่าความเป็นกรดด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์พวกอะเซติกหรือแลคติก จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์พวกกรดอะเซติกหรือกรดแลคติก ทำให้ค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าประมาณ 3–4

2.1.5.6 ความชื้น

ในกระบวนการหมักจะต้องมีความชื้นสูงโดยมีการเติมน้ำให้ท่วมวัสดุหมักซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก

2.1.5.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อประเภทของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก กระบวนการหมักนี้เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอุณหภูมิปกติ หรือระหว่าง 30–35 องศาเซลเซียส และไม่ต้องการแสง

2.1.5.8 ระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมักวัสดุเหลือใช้ลักษณะสดในสภาพที่เป็นของเหลวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมและปัจจัยของวัสดุที่ใช้ในการหมัก เช่น วัสดุเหลือใช้จากสัตว์สารละลายที่ถูกสกัดออกมาจะใช้ระยะเวลาประมาณ 20-30 วัน พืชผักและผลไม้ใช้ระยะเวลาประมาณ 10-14 วัน เป็นต้น

2.1.6 การพิจารณาน้ำสกัดชีวภาพที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์แล้วไปใช้ให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุดมีข้อพิจารณาดังนี้ (พงษ์ พฤกษา, 2548)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6.1 มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยลง เป็นการแสดงที่บ่งบอกว่ากระบวนการหมักสิ้นสุดลง โดยสังเกตจากผิวหน้าของวัสดุหมักจะมีฝ้าขาวลดลง

2.1.6.2 ปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลง โดยสังเกตได้จากกลิ่นแอลกอฮอล์ที่ลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ได้ใช้น้ำตาลเสร็จสิ้นกระบวนการ และจุลินทรีย์ที่ใช้แอลกอฮอล์ผลิตกรดอินทรีย์ขึ้นทำให้กิจกรรมการหมักลดลง

2.1.6.3 มีกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์มากขึ้น ลักษณะของน้ำสกัดชีวภาพจึงเป็นกรดมากขึ้น

2.1.6.4 ไม่ปรากฏฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากการดำเนินกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์มีน้อยมากทำให้ฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

2.1.6.5 ได้ของเหลวใสสีน้ำตาล เป็นการบ่งบอกว่ากิจกรรมการย่อยสลายเสร็จสิ้น

2.1.6.6 จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าน้ำสกัดชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นกรดสูง โดยมีค่าพีเอชประมาณ 3–4

2.1.7 จุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพมีทั้งที่ต้องการออกซิเจน และไม่ต้องการออกซิเจน มักเป็นกลุ่มแบคทีเรีย Bacillus sp., Lactobacillus sp., Streptococus sp., นอกจากนี้ยังอาจพบเชื้อรา ได้แก่ Aspergillus niger, Pennicillium, Rhizopus และยีสต์ ได้แก่ Canida sp. จากการสำรวจและรวบรวมน้ำสกัดชีวภาพที่เกษตรกรผลิตและใช้โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1–8 กรมวิชาการเกษตร จำนวน 88 ตัวอย่าง (กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2547) ได้ผลดังนี้

1) พบแบคทีเรียในน้ำสกัดชีวภาพทุกตัวอย่าง มีจำนวนอยู่ในช่วง 100–100,000,000 เซลล์/มิลลิลิตร คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบ

2) พบแบคทีเรียกรดแลคติกในน้ำสกัดชีวภาพ 35 ตัวอย่าง มีจำนวนอยู่ในช่วง 1,000–100,000,000 เซลล์/มิลลิลิตร คิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบ

3) พบยีสต์ในน้ำสกัดชีวภาพ 24 ตัวอย่าง มีจำนวนอยู่ในช่วง 10–10,000,000 เซลล์/มิลลิลิตร คิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบ

4) พบราเส้นใยในน้ำสกัดชีวภาพ 16 ตัวอย่าง มีจำนวนอยู่ในช่วง 10 – 1,000,000 เซลล์/มิลลิลิตร คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยาของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 32 ตัวอย่าง และน้ำสกัดชีวภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป จำนวน 26 ตัวอย่าง (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550) พบว่า

1) จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ มีค่าอยู่ระหว่าง ไม่พบ (Non Detected, ND) ถึง 1.50×10^7 CFU/ml

2) โคลิฟอร์ม ที่ทำการตรวจวัด คือ Total Coliform และ *E. coli* ซึ่งเป็นโคลิฟอร์มที่พบในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น ดังนั้นหากพบโคลิฟอร์มในปริมาณที่สูงก็อาจแสดงว่าน้ำสกัดชีวภาพมีการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลือดอุ่น หากพบ *E. coli* แสดงว่ามีโอกาสปนเปื้อนด้วยอุจจาระของมนุษย์สูงมาก และอาจมีเชื้อโรคทางเดินอาหารอื่นๆ ปนเปื้อนด้วย พบว่า Total Coliform มีค่าอยู่ระหว่าง ไม่พบ (ND) ถึง มากกว่า 1,100 MPN/100ml และ *E. coli* มีค่าอยู่ระหว่าง ไม่พบ (ND) ถึง 9.00 MPN/100ml

3) ยีสต์และรา ยีสต์ เป็นจุลินทรีย์ที่พบในภาวะที่มีน้ำตาลสูงซึ่งยีสต์จะใช้น้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่มีอากาศ ยีสต์จะใช้น้ำตาลในการสร้างพลังงานทำให้เพิ่มจำนวนเซลล์ขึ้น ในสภาวะขาดอากาศ (ขาดออกซิเจน) ยีสต์จะหมักน้ำตาลเกิดเป็นแอลกอฮอล์ทำให้มีกลิ่นหอมในน้ำสกัดชีวภาพที่หมักไว้นานพอสมควร และ รา เป็นจุลินทรีย์ที่พบได้เป็นปกติในปุ๋ยหมัก เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของพืชการย่อยสลายจะเกิดในสภาวะที่มีอากาศ โดยพบว่ายีสต์และราในน้ำสกัดชีวภาพมีค่าอยู่ระหว่าง ไม่พบ (ND) ถึง 2.89×10^7 CFU/ml

4) ชนิดของปรสิตที่ทำการศึกษา คือ Nematode ซึ่งไม่พบ Nematode ในตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพทั้งหมด

แบคทีเรียที่พบในน้ำสกัดชีวภาพหลากหลายสายพันธุ์มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุที่ใช้ในการผลิตซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งจากพืชและสัตว์ แบคทีเรียย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำให้สารประกอบโมเลกุลใหญ่ๆ เล็กลง ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูป

ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกจะมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพที่กระบวนการผลิตมีน้ำตาลมาเกี่ยวข้อง แบคทีเรียกรดแลคติกอาศัยอยู่ในธรรมชาติมากมายหลากหลายแห่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีน้ำตาลชนิดต่างๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างกรดแลคติก กรดฟอร์มิก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียหลายสายพันธุ์สามารถละลายตะกอนฟอสเฟตซึ่งพืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารพืชได้ให้เปลี่ยนอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ แบคทีเรียที่พบในน้ำสกัดชีวภาพหลายสายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคพืชบางชนิด ฆ่าแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ฯลฯ

ยีสต์เป็นราเซลล์เดียว มักจะมีรูปทรงกลมหรือรี กระจายทั่วไปในธรรมชาติ พบได้บนผิวผลไม้และใบไม้ ในน้ำสกัดชีวภาพยีสต์จะหมักน้ำตาลเป็นเอทิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์

ราเส้นใยเป็นจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ ดังนั้นในลักษณะของการทำน้ำสกัดชีวภาพซึ่งเป็นการหมักที่มีออกซิเจนน้อย สภาพดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของราเส้นใย จึงมักจะพบอยู่บนผิวหน้าของน้ำสกัดชีวภาพหรือบนพื้นผิวภาชนะที่มีน้ำตาลติดอยู่ (กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2.1.8 ประโยชน์ของน้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพมีประโยชน์ในด้านต่างๆ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม , 2548; ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549) ดังนี้

2.1.8.1 ใช้กับพืชโดยตรง

น้ำสกัดชีวภาพจะประกอบด้วยสารต่างๆ และจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นก่อนนำเอาไปใช้ประโยชน์จึงต้องทำให้เจือจางมากๆ โดยมีอัตราส่วนน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาดคือ 1:500 ถึง 1:1,000 การใช้น้ำสกัดชีวภาพจะต้องมีความระมัดระวังมาก ถ้าเข้มข้นมากไปพืชจะชะงักการเจริญเติบโต ใบจะมีสีเหลือง ถ้าใช้ในอัตราที่พอเหมาะพืชจะแสดงสภาพเขียวสด ใบเป็นมัน ดังนั้นการใช้จึงควรใช้อัตราเจือจางมากเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถใส่ให้แก่ต้นไม้ประมาณ 3-7 วันต่อครั้ง และเมื่อพืชเจริญงอกงามดีในเวลาต่อมาอาจใช้เดือนละครั้ง

2.1.8.2 ใช้ป้องกันกำจัดแมลงและโรค

โดยการผสมน้ำสกัดชีวภาพในอัตราเจือจางฉีดพ่น โดยเฉพาะเพลี้ยแป้งใช้ได้ผลดี ฉีดพ่น 3-4 ครั้ง แล้วปล่อยทิ้งไว้อีก 7 วัน พ่น 2-3 ครั้ง เพลี้ยแป้งจะตาย

2.1.8.3 ใช้กับสัตว์เลี้ยง (ไก่และสุกร)

โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพจำนวน 20 ลิตร มาผสมกับน้ำสะอาด 20 ลิตร นำไปใช้เลี้ยงไก่หรือสุกร เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค โดยวิธีดังกล่าวจะมีสรรพคุณทำให้สัตว์แข็งแรง มีภูมิคุ้มกันโรค และที่สำคัญพื้นคอกไก่ไม่มีกลิ่นแอมโมเนีย ซึ่งส่งผลให้ไก่ไม่เป็นโรค

2.1.8.4 ใช้ประโยชน์ในการกำจัดน้ำเสียและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

นำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้ย่อยสลายอินทรียวัตถุจากแหล่งน้ำต่างๆ เช่น บ่อน้ำ สระน้ำที่มีอินทรียวัตถุย่อยสลายบูดเน่าสามารถใส่น้ำชีวภาพลงไปในแหล่งน้ำดังกล่าว โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วน 1:100 , 1:250 หรือ 1:500 โดยคิดจากปริมาณน้ำในแหล่งน้ำ เช่น ปริมาณน้ำ 1,000 ส่วน เติมน้ำสกัดชีวภาพ 1 ส่วน ส่วนระยะเวลาการย่อยสลายใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ขึ้นไป

2.1.8.5 ใช้บำบัดกลิ่นเหม็นเน่าต่างๆ

โดยผสมน้ำสกัดชีวภาพ 1 ส่วน ต่อน้ำ 10 ส่วน แล้วราดบริเวณที่มีกลิ่น เช่น ห้องส้วม กองขยะ ท่อระบายน้ำ ฯลฯ จุลินทรีย์จะเร่งการย่อยสลายอินทรีย์สารที่เป็นต้นเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นแล้วคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

2.1.8.6 เทลงโถส้วมหรือท่อระบายน้ำทิ้ง

จุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารที่ตกค้างทำให้ส้วมไม่เต็มเร็ว และท่อระบายน้ำทิ้งไม่อุดตัน

2.1.9 **ข้อควรระวังในการใช้น้ำสกัดชีวภาพ**

ในการใช้น้ำสกัดชีวภาพมีข้อควรระวังต่างๆ (ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549) ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.9.1 การใช้น้ำสกัดชีวภาพกับพืชบางชนิด เช่น กล้วยไม้ อาจทำให้วัสดุที่ใช้ปลูก เช่น กาบมะพร้าวผุเร็วก่อนเวลาอันสมควร

2.1.9.2 การใช้น้ำสกัดชีวภาพกับพืชนั้นในดินควรมีอินทรียวัตถุอยู่ เช่น มีการใส่ปุ๋ยหมัก และเศษพืชแห้งคลุมดินไว้ ซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากน้ำสกัดชีวภาพได้ผลดี

2.1.9.3 การใช้น้ำสกัดชีวภาพกับพืชควรใช้ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ เพราะอาจมีผลเสียต่อพืชได้ เนื่องจากความเป็นกรดหรือความเค็มในน้ำสกัดชีวภาพ

2.1.9.4 น้ำสกัดชีวภาพที่มีธาตุไนโตรเจนสูงให้ระวังในการใช้ เพราะถ้าใช้มากอาจทำให้เฝือใบและไม่ออกดอก ออกผลได้

2.1.10 ธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 32 ตัวอย่าง และน้ำสกัดชีวภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป จำนวน 26 ตัวอย่าง (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550) พบว่าในน้ำสกัดชีวภาพมีธาตุอาหารต่างๆ ดังนี้

2.1.10.1 ธาตุอาหารหลัก

ธาตุอาหารหลักที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ ไนโตรเจน (Total N) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0001-1.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียม (Total K_2O) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.66 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.1.10.2 ธาตุอาหารรอง

ธาตุอาหารรองที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ แคลเซียม มีค่าอยู่ระหว่าง 0-2.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แมกนีเซียม มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพบซัลเฟอร์ในปริมาณน้อยมากจนถึงไม่พบเลย

2.1.10.3 ธาตุอาหารเสริม

ธาตุอาหารเสริมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ เหล็ก มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คลอไรด์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04-5.31 เปอร์เซ็นต์โดย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก แมงกานีส มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สังกะสี มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โบรอน มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพบโมลิบดินัมในปริมาณน้อยมากจนถึงไม่พบเลย

2.2 น้ำกากส่า (Slop Distillery Waste)

2.2.1 กระบวนการผลิตสุรา

สุรา เป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ (alcohol) น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต รวบรวมไว้ได้ 3 ประเภท (มาลี วิศวาจารย์, 2531) คือ

1) สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภท สก็อตวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น

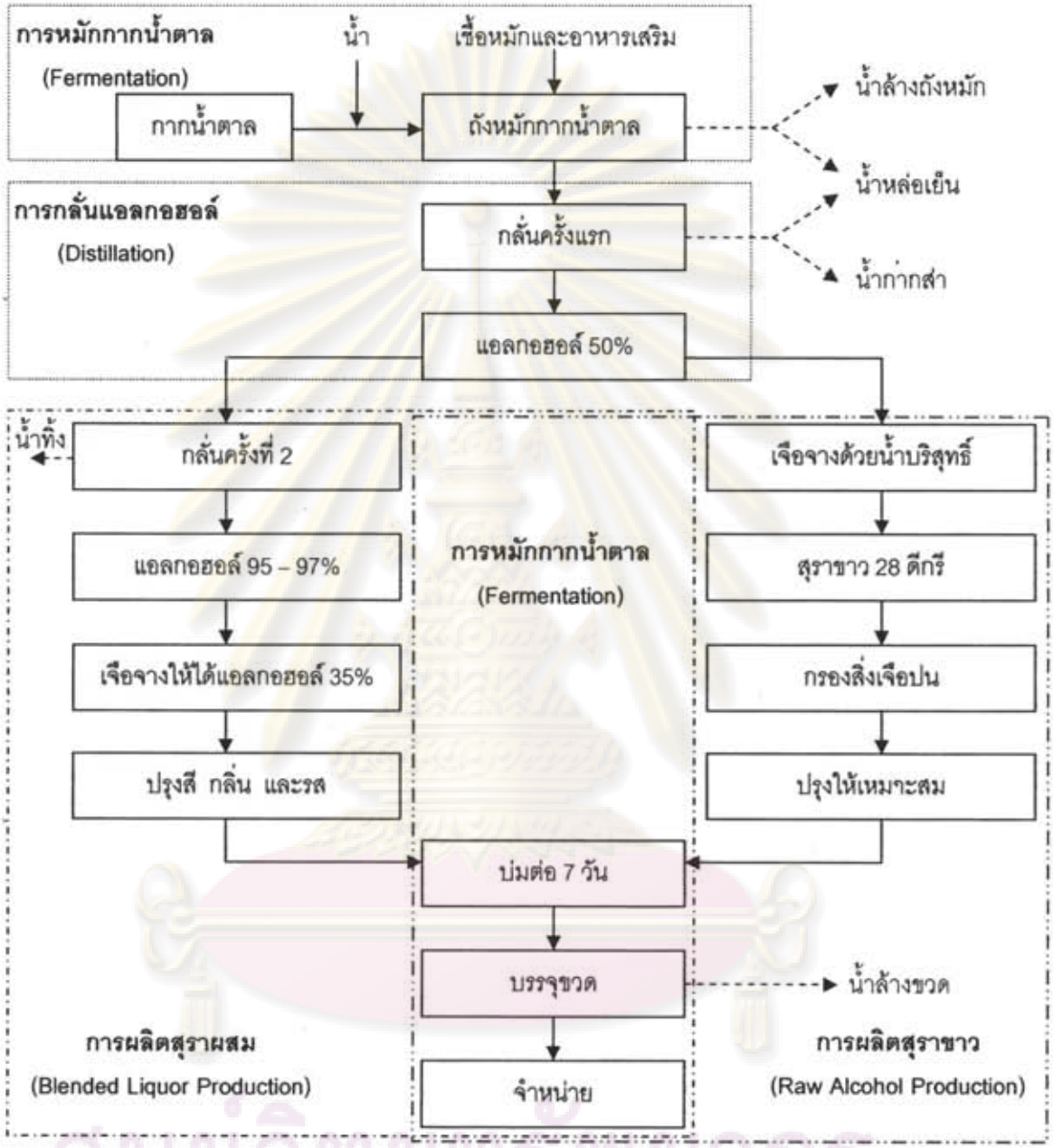
2) สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภทไวน์ (Wine) บรั่นดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)

3) สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses Distilleries) เช่น สุราขาว (Raw alcohol) สุราผสม (Blended liquor) รัม (Rum) เป็นต้น

กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528) ได้แก่

2.2.1.1 การหมักกากน้ำตาล (Fermentation)

กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลิตผลเหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8–10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่า เบียร์ (beer) หรือแมช (mash) หรือน้ำส่า ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล

ที่มา : สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1.2 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation)

น้ำส่าถูกส่งมายังหอกลั่นแรกเพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไปเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95–97 โดยปริมาตร

2.2.1.3 การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production)

ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตร ที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (28 degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรุงให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป .

2.2.1.4 การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production)

นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95–97 โดยปริมาตร ที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สองมาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (35 degree) แล้วเติมสี สมุนไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.2.2 คุณสมบัติของน้ำกากส่า

น้ำกากส่าแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำกากส่าขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และน้ำกากส่าแดง ได้จากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งน้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นน้ำกากส่าแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง (มาลี วิศวาจารย์, 2531)

สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่าเกิดจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ เกิดจากสีของคาราเมลจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาล ซึ่งเกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างการผลิต และสาเหตุที่สองเกิดจากสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นธาตุที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลกับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิสูงโดยผ่านกระบวนการบราวนิ่งรีแอกชั่น (browning reaction) หรือเมลลาดรีแอกชั่น (mallard reaction) ซึ่งมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้มมีผลทำให้น้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้ม สารเมลานอยดินดังกล่าวเป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยากด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (จักรินทร์ เพ็ชรงาม และคณะ, 2547)

ได้มีผู้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานสุราต่างๆ เช่น สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528) ศึกษาการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้วิธีเทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำกากส่าพบว่าองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.0–5.0 ค่าบีโอดีสูงประมาณ 29,000–45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดี 90,000–130,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2528) ศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และธเรศ ศรีสถิตย์ และสุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม (2548) ศึกษาการปนเปื้อนของน้ำกากส่าในดินของโรงงานผลิตสุราต่างๆ ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่าดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
pH	3.66	-
อุณหภูมิ	88.6	องศาเซลเซียส
COD	118,098.0	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD	27,475.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Suspended Solids	11,319.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Total Solids	75,829.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Total Volatile Solids	58,523.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Settleable Solids	26.67	มิลลิกรัม/ลิตร
Total-N	935.0	มิลลิกรัม/ลิตร
PO_3^{-3}-P	115.2	มิลลิกรัม/ลิตร
K	4,763.0	มิลลิกรัม/ลิตร
SO_4^{-2}	3,718.0	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD loading	3,806.0	กิโลกรัม/วัน
BOD loading	2.77	กิโลกรัม/เท*
ปริมาณน้ำเสีย	0.106	ลูกบาศก์เมตร/เท

ที่มา : ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2528

หมายเหตุ : * 1 เท เท่ากับ 20 ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานสุราต่างๆ

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย		
	บ. สีมาธุรกิจ จำกัด จ.นครสวรรค์	องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จ.ฉะเชิงเทรา	บ. ประมวลผล จำกัด จ.นครปฐม
pH	2.50	2.43	3.96
อุณหภูมิ (°C)	42.0	40.5	31.5
SS (mg/l)	55,600	21,200	9,450
TS (mg/l)	91,315	148,520	38,420
COD (mg/l)	118,752	158,340	32,162
BOD (mg/l)	12,500	71,250	2,000
Conductivity (mS/cm)	850	150	790

ที่มา : ธเรศ ศรีสถิตย์ และสุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม, 2548

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าของโรงงานผลิตสุราขณะนี้มีการนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของน้ำกากส่าจะพบว่าน้ำกากส่ามีองค์ประกอบต่างๆ ที่ซับซ้อน ดังนั้นการที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านจุลชีววิทยาก็ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถเฉพาะตัวในการที่จะใช้น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราเป็นวัตถุดิบและให้ผลผลิตอื่นๆ อย่างไรก็ตามมีผู้นำน้ำกากส่ามาใช้ประโยชน์บ้างดังต่อไปนี้ (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528; ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 2548)

2.2.3.1 ใช้โดยตรงทางการเกษตร

เนื่องจากน้ำกากส่ามีธาตุอาหารพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อยู่บ้าง จึงมีการนำน้ำกากส่าไปใช้เป็นปุ๋ย โดยการนำไปคลุกเคล้ากับดินก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้ปริมาณการใช้ก็ขึ้นกับชนิดของพืชที่ทำการปลูกด้วย

2.2.3.2 ใช้ในการเลี้ยงปลาสลิด

น้ำกากส่าจะไปเป็นอาหารให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงค์ตอน ซึ่งจะเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3.3 ใช้ราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น

สภาพของถนนลูกรังที่ราดด้วยน้ำกากส่าแล้วจะมีสีดำคล้ายกับการราดด้วยยางมะตอย และไม่มีฝุ่นไปประมาณ 15 วัน ต่อการราด 1 ครั้ง ถ้าเกิดการชะล้างจากน้ำฝนลงสู่บริเวณข้างเคียงก็ไม่ทำให้เกิดปัญหา เนื่องจากน้ำกากส่ามีผลดีทางการเกษตร

2.2.3.4 การนำมาทำปุ๋ยหมัก

การนำน้ำกากส่ามาฉีดผสมกับเศษพืช เช่น ชานอ้อย เปลือกและขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย ผักตบชวา เชื้อจุลินทรีย์ที่มีในน้ำกากส่าจะช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ ให้สลายตัวไป

2.2.3.5 ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากน้ำกากส่ามีค่าบีโอดีสูง ถ้านำไปบำบัดด้วยวิธีย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้

2.2.3.6 ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง

น้ำกากส่ามีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อกุ้ง เช่น ช่วยในการย่อยสลายอาหารในลำไส้กุ้งทำให้ดูดซับสารอาหารได้ดีขึ้น ช่วยในการป้องกันโรค อีกทั้งยังช่วยปรับสภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น เลนที่ก้นบ่อน้อยลง ลดกลิ่นเหม็นในบ่อ เป็นอาหารของแพลงค์ตอน เป็นต้น

2.2.3.7 การนำน้ำกากส่ามาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย

โดยใช้หลักการ incineration ซึ่งทำได้โดยการใช้เครื่อง evaporator ในโรงงานสุราบางยี่ขัน จังหวัดปทุมธานี จะทำการเคี่ยวน้ำกากส่าจนงวดแห้ง โดยให้มีเนื้อของแข็งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเนื้อของของแข็งดังกล่าวพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และยังได้ผลพลอยได้ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงอีกด้วย ต่อมามีการนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับน้ำกากส่าที่ได้จากโรงงานผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสุราอีกด้วย

2.2.3.8 การนำน้ำกากส่ามาเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว

เนื่องจากในน้ำกากส่ามีน้ำตาลฟรุคโตสเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งพบว่ามียีสต์หลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นในการนำน้ำกากส่ามาเลี้ยงยีสต์ดังกล่าวเพียงแต่เติมแหล่งไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต

ยีสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี หลังจากทำการแยกยีสต์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนออกไปแล้วพบว่าน้ำกากส่าดังกล่าวมีค่าบีโอดีและซีโอดีลดลง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในน้ำกากส่าได้อีกทางหนึ่ง จากการเลี้ยงเชื้อ *S. cerevisiae* และ *Candida valida* ในน้ำกากส่าสามารถผลิตโปรตีนได้ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์

2.2.4 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะของแม่น้ำลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่านั้นให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำ

2.2.4.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษาพบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริคคลอไรด์ และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีน้ำกากส่า คือ สารส้ม 35 กิโลกรัม ต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาท ต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการกำจัดสีของสารเมลานอยดินด้วยวิธีการทางเคมีอีกหลายรูปแบบซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูง เช่น การดูดซับด้วยแอคติเวเต็ดคาร์บอน หรือการตกตะกอนด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริคซัลเฟต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น (กรมสรรพสามิต กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

2.2.4.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้า

การทำงานของระบบบำบัดประเภทนี้เริ่มจากการสูบน้ำเสียผ่านเซลล์อิเล็กโตรไลท์ (Electrolytic cell) ที่มีขั้วไฟฟ้าบวกเป็นโลหะซึ่งทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีมาจากขั้วไฟฟ้าลบ สารนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation) กับน้ำเสียและโลหะหนักในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 2548)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพโดยร่วมกับกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน คือ การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ ได้แก่ เห็ด รา และแบคทีเรีย ซึ่งบางชนิดสามารถกำจัดสีของน้ำกากส่าได้ นอกจากนั้นยังใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศร่วมกับกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อลดค่าบีโอดี ซีโอดี และสีในน้ำกากส่า รวมถึงการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานอีกด้วย (ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 2548)

2.2.4.4 บ่อเก็บกักและลานตาก

วิธีนี้เป็นการเก็บกักน้ำกากส่าในบ่อเก็บกักช่วง 6 เดือน ในฤดูฝน จากนั้นก็ระบายน้ำกากส่าจากบ่อเก็บกักเพื่อไปตากแห้งบนลานในฤดูแล้ง 6 เดือน รวม 12 เดือน อัตราระเหยอยู่ระหว่าง 4-5 มิลลิเมตรต่อวัน วิธีนี้ใช้ที่ดินมากพอสมควร คือ ราว 150 ไร่ สำหรับน้ำเสียประมาณ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ข้อดีของวิธีนี้คือ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ โดยค่าใช้จ่ายประมาณ 2-3 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำกากส่า และใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่จำกัด ประกอบกับประเทศไทยมีความแห้งแล้งมากในฤดูแล้งจึงทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้มาก แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้ที่ดินมาก อาจมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงต้องป้องกันด้วยการเติมปูนขาวในบ่อเก็บกักในช่วงเริ่มแรก หรือหากมีน้ำกากส่าด่างก็อาจสูบย้ายบ่อจากบ่อกรดมาบ่อด่างเพื่อทำให้สะเทินแล้วย้ายกลับมาบ่อกรดเดิมได้ ทำให้ปัญหากลิ่นหมดไป (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528)

2.2.4.5 กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ

วิธีนี้เป็นการหมักน้ำกากส่าในสภาวะไร้อากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ทำลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ ซึ่งได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ อาจนำมาทดแทนน้ำมันเตาในเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อใช้ไอน้ำในการกลั่นและการหมัก หลังจากการหมักค่าบีโอดีจะลดลงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ น้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 20 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งให้ความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันเตา 20 ลิตร ผลประโยชน์ที่ได้จากระบบนี้คือ เมื่อหักค่าใช้จ่ายแล้วจะได้เงินตอบแทนประมาณ 80 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำกากส่า การบำบัดด้วยวิธีนี้แม้ว่าค่าบีโอดีจะลดลงแล้วแต่ส่วนที่เหลือก็ยังมีความเข้มข้นอยู่จึงควรนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีการที่เหมาะสมต่อไป (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4.6 กระบวนการบำบัดโดยใช้วิธีตะกอนเร่ง

กระบวนการบำบัดโดยใช้วิธีตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ต้องมีการเติมลมหรือเติมออกซิเจน แต่เนื่องจากน้ำกากส่ามีความเข้มข้น ค่าบีโอดีและซีโอดีสูง จึงต้องเสียค่าน้ำ ไฟฟ้า และสารเคมีในอัตราที่สูงมาก ประมาณ 200 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำกากส่า ซึ่งนับว่าสูงมาก (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528)

2.2.4.7 วิธีการเคี่ยวและเผา

วิธีการกำจัดน้ำกากส่าที่เคยมีการสร้างในประเทศไทยแล้วคือการนำน้ำกากส่าไปเคี่ยวให้แห้ง ปริมาตรของน้ำจะระเหยไปโดยการเคี่ยวซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เมื่อของแข็งเข้มข้นแล้วก็นำเข้าเตาเผาให้เผาไหม้ ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งนำไปใช้เป็นพลังงานในหม้อต้มสุรา และยังได้ผลพลอยได้ เช่น น้ำกากส่าที่เคี่ยวจนแห้งแล้วจะมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มาก ซึ่งสามารถนำไปจำหน่ายให้โรงงานแก้วได้ แต่ผลพลอยได้นี้ไม่คุ้มกับการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงประมาณ 200-300 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำกากส่า (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528)

2.3 กากน้ำตาล (Molasses)

2.3.1 กระบวนการผลิตน้ำตาล

อุตสาหกรรมน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมจากผลิตผลการเกษตรประเภทหนึ่ง ซึ่งน้ำตาลที่ผลิตกันมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1) น้ำตาลดิบเพื่อส่งออก น้ำตาลนี้ได้แก่ผลึกของน้ำตาลซูโครสชนิดที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ มีความชื้นค่อนข้างสูง มีสีน้ำตาลอ่อนหรือเข้มตามสีของกากน้ำตาล ซึ่งหุ้มผลึกหรือเมล็ดของกากน้ำตาลอยู่ น้ำตาลทรายดิบนี้ผลิตจากอ้อยหรือหัวผักกาดหวานโดยตรง โดยใช้กรรมวิธีการแยกสิ่งสกปรกหรือสิ่งไม่บริสุทธิ์ออกจากน้ำเชื่อมด้วยวิธีการตกตะกอน น้ำตาลทรายดิบนี้ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตน้ำตาลทรายบริสุทธิ์

2) น้ำตาลทรายขาวผลิตจากอ้อยโดยตรง มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง มีความชื้นต่ำ ไหลตัวได้คล่อง มีสีค่อนข้างขาวซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต น้ำตาลประเภทนี้ใช้ในอุตสาหกรรมที่ไม่การคุณภาพของน้ำตาลสูงนัก

3) น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ คือน้ำตาลซูโครสที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก ผลิตจากน้ำตาลทรายดิบที่นำมาผ่านกรรมวิธีการล้างกากน้ำตาลที่มีคุณภาพปานกลาง

กระบวนการผลิตน้ำตาลและแอลกอฮอล์รวมทั้งการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต (Tapas, Sunita และ Kaul, 2002) แสดงดังรูปที่ 2.2 และกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อยมีรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 2550)

2.3.1.1 การเตรียมอ้อยป้อนลูกหีบ

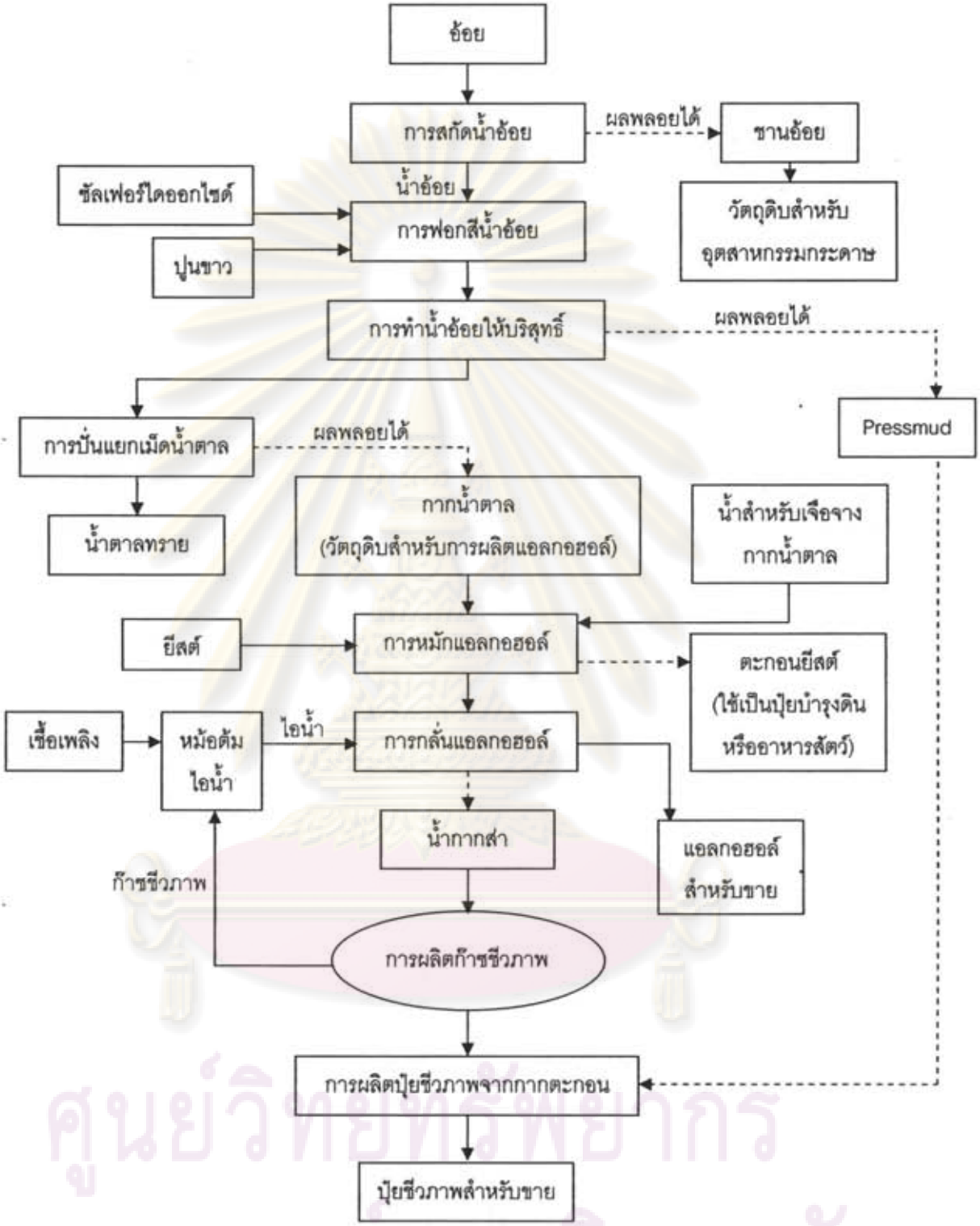
ขั้นตอนนี้เป็นจุดสำคัญอันดับแรกของขบวนการผลิตน้ำตาลทรายจะต้องดูแลใกล้ชิด เพราะเป็นจุดที่ช่วยให้สารสกัดน้ำอ้อยหรือน้ำตาลจากอ้อยได้มากที่สุด โดยการแปรรูปอ้อยให้อยู่ในสภาพที่ชุดลูกหีบสามารถสกัดน้ำอ้อยหรือน้ำตาลจากอ้อยได้อย่างสะดวกราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูง

2.3.1.2 การสกัดน้ำอ้อย

ในขั้นตอนนี้อ้อยมีลักษณะเป็นฝอยหรือเป็นเส้นยาวละเอียดพอควร การเตรียมอ้อยป้อนชุดลูกหีบจะมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ดี ถ้าเซลล์อ้อยถูกทำลายให้แตกได้ประมาณร้อยละ 80–85 เครื่องมือที่ใช้สกัดน้ำอ้อยโดยทั่วไปได้แก่ชุดลูกหีบล้วนๆ บางโรงงานอาจใช้เครื่องสกัดน้ำอ้อยแบบใหม่เรียกว่า ดิฟฟิวเซอร์ (diffuser) แต่โรงงานน้ำตาลทั่วไปยังนิยมใช้ชุดลูกหีบล้วนๆ ซึ่งติดตั้งเป็นแถวต่อเนื่องกัน เพื่อช่วยจับยึดอ้อยที่ป้อนเข้ามาและคายออกไป และช่วยสกัดน้ำอ้อยระบายลงรางรับน้ำอ้อย จากการสกัดน้ำอ้อยจะได้น้ำอ้อยที่เรียกว่าน้ำอ้อยรวม

2.3.1.3 การทำน้ำอ้อยให้บริสุทธิ์

น้ำอ้อยรวมที่ผ่านตะแกรงแยกผงกากอ้อย จะถูกผ่านกรรมวิธีแยกสิ่งสกปรกออกมา เทคโนโลยีที่ใช้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบต่างๆ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบจะใช้กรรมวิธีแยกสิ่งไม่บริสุทธิ์ออกด้วยการทำให้ตกตะกอนซึ่งในที่นี้จะอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์โดยไม่มุ่งหวังการฟอกสีโดยตรง เริ่มด้วยการผ่านน้ำอ้อยเข้าหม้ออุ่นน้ำอ้อยให้มีอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ที่ไม่ใช้อุณหภูมิสูงก็เพื่อลดสีที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของน้ำตาลในน้ำอ้อย น้ำอ้อยอุ่นจะเข้าผสมน้ำปูนขาวซึ่งใช้ความเข้มข้นปูนขาวอยู่ในช่วง 46-84 กรัมต่อลิตร การผสมไม่ควรใช้เวลานานเกิน 3 นาที เพราะถ้านานกว่านี้อาจทำให้เกิดสีได้หรือเกิดปฏิกิริยาทำให้ได้สารอื่นขึ้นและจะทำให้มีกากน้ำตาลมากขึ้น



รูปที่ 2.2 กรรมวิธีผลิตน้ำตาลและแอลกอฮอล์รวมทั้งการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

ที่มา : Tapas, Sunita และ Kaul, 2002

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปแล้วจะมีการนำตัวอย่างน้ำอ้อยจากหีบทดลองมาพรมกับน้ำปูนขาวให้ได้ระดับ pH ตามที่กำหนดไว้ แล้วจึงส่งผ่านเข้าหม้อต้มน้ำอ้อยให้เดือด (อุณหภูมิประมาณ 102-105 องศาเซลเซียส) แล้วนำไปผสมกับสารรวมตะกอน (flocculants) แล้วผ่านเข้าถังระบายไอ (flash tank) เพื่อแยกไอหรือฟองอากาศหรือก๊าซที่มีอยู่ในน้ำอ้อยไม่ให้ไปติดรบกวนการตกตะกอนในถังตกตะกอน

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจะทำให้น้ำอ้อยบริสุทธิ์โดยการเพิ่มเติมกรรมวิธีฟอกสีน้ำอ้อย โดยการฟอกสีน้ำอ้อยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งได้จากเตาเผากำมะถันหรือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากฟลิวก๊าซ (flue gas คือ ไอเสียที่ออกมาตามปล่องไฟ เป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันและอากาศ อาจมีความร้อนหลงเหลืออยู่บ้าง) ในปล่องเตาหม้อน้ำโดยให้ผ่านเครื่องฟอกก๊าซ (scrubber) เพื่อแยกผงเถ้าและเขม่าออกก่อน ทั้งสองวิธีนี้ยังคงใช้ปูนขาวและความร้อนในการทำน้ำอ้อยให้บริสุทธิ์

2.3.1.4 การต้มน้ำอ้อยเป็นน้ำเชื่อม

น้ำอ้อยใสที่ผ่านกรรมวิธีที่ทำให้บริสุทธิ์ตามกรรมวิธีต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จะถูกส่งเข้าชุดหม้อต้มซึ่งทำงานต้มระเหยต่อเนื่องจนออกมาเป็นน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นตามต้องการ หม้อต้มชุดแรกหรือใบแรกจะใช้ไอเสียจากความร้อนเครื่องจักรกลชนิดใช้ไอน้ำ ส่วนไอระเหยของน้ำอ้อยที่เกิดขึ้นในหม้อต้มชุดแรกหรือใบแรกจะถูกป้อนเข้าถังไอของหม้อต้มชุดต่อไป เป็นเช่นนี้ต่อเนื่องกันไปจนถึงหม้อต้มชุดสุดท้ายหรือใบสุดท้าย โดยวิธีการนี้ความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำ 1 กิโลกรัม อาจใช้ระเหยน้ำได้ถึง 4 หรือ 5 กิโลกรัม เพราะไอน้ำที่ได้จากการระเหยน้ำในหม้อต้มชุดแรกนำไปทำให้ควบแน่นและคายความร้อนเพื่อใช้ในการระเหยน้ำจากน้ำอ้อยชุดถัดไป การทำงานในชุดหม้อต้มนี้จะอยู่ภายใต้สุญญากาศ เพื่อทำให้จุดเดือดของน้ำอ้อยต่ำลง เป็นการป้องกันการเสื่อมของน้ำตาลในน้ำอ้อย

2.3.1.5 การทำน้ำเชื่อมให้บริสุทธิ์

น้ำเชื่อมที่ได้จากชุดหม้อต้มจะส่งเข้าไปถังพัก ในการผลิตน้ำตาลทรายดิบโดยทั่วไปน้ำเชื่อมจะถูกป้อนเข้าหม้อเคี่ยวโดยตรง ยกเว้นในกรณีที่ต้องการน้ำตาลทรายดิบคุณภาพสูงและเพื่อเพิ่มความสะดวกในการเคี่ยวและปั่นแยกเม็ดน้ำตาล จะมีการทำน้ำเชื่อมให้บริสุทธิ์เฉพาะ การแยกสารไม่บริสุทธิ์จำพวกสารของแข็งแขวนลอยซึ่งเป็นต้นเหตุให้น้ำเชื่อมขุ่นมัวและมีความหนืดสูง ส่วนการผลิตน้ำตาลทรายขาวโดยตรงจากอ้อยและกรณีการผลิตน้ำตาลทรายบริสุทธิ์จากน้ำตาลทราบดิบ จะใช้กรรมวิธีการฟอกสีน้ำเชื่อมแบบต่างๆ ซึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีที่ใช้มีหลายวิธีแตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นๆ อีกซึ่งอาศัยสารเคมีที่ทำขึ้นเป็นพิเศษสำหรับกระบวนการนี้โดยเฉพาะ

2.3.1.6 การตกผลึกน้ำตาล

โดยทั่วไปการเคี่ยวน้ำเชื่อมให้เกิดเม็ดน้ำตาล คือ เคี่ยวให้เกิดเม็ดน้ำตาลขึ้นมาเอง ซึ่งจะต้องเคี่ยวจนกระทั่งความเข้มข้นน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นถึงภาวะเหนือจุดอิ่มตัว (ระดับสูงสุด) แล้วจึงลดความเข้มข้นลงมาอยู่ในระดับกลาง เลี้ยงเม็ดน้ำตาลที่เกิดขึ้นให้เติบโตจนถึงขนาดต้องการ ปัจจุบันไม่นิยมวิธีนี้เพราะการควบคุมปริมาณและขนาดสม่ำเสมอของเม็ดน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นกระทำได้ยาก จึงหันมาใช้วิธีกระตุ้นให้เกิดแกนผลึกน้ำตาลโดยไม่ใส่ผงเชื้อน้ำตาล ซึ่งได้จากการบดน้ำตาลทรายขาวที่อบแห้งแล้วให้เป็นผงละเอียดลงในน้ำเชื่อมซึ่งอยู่ในภาวะเหนือจุดอิ่มตัวระดับกลางเพื่อเป็นจุดตั้งต้นของการตกผลึกของน้ำตาลทราย

2.3.1.7 การปั่นแยกเม็ดน้ำตาลทราย

การแยกเม็ดน้ำตาลออกจากแมสคิทชนิดต่างๆ นั้น อาศัยการทำงานของหม้อปั่นน้ำตาลซึ่งมีหลายแบบหลายชนิด โดยทั่วไปหม้อน้ำตาลมักจะทำด้วยเหล็กอ่อนหรือเหล็กกล้าหรือโลหะผสมนิเกิลหรือเหล็กกล้าไร้สนิม มีรูที่ข้างหม้อเป็นแถวสำหรับระบายกากน้ำตาลขณะหม้อปั่นทำงาน โดยกากน้ำตาลจะแยกตัวจากแมสคิทด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทิ้งเม็ดน้ำตาลให้ค้างบนตะแกรงหม้อปั่นแล้วลอดผ่านแผ่นโครงรองรับตะแกรงซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นตะแกรงกับผนังด้านข้างของตัวหม้อปั่นออกไปปะทะกับถังหุ้มหม้อปั่นรวมตัวกันไหลออกจากช่องระบายกากน้ำตาลหลังหม้อปั่น

2.3.1.8 การอบบรรจุหรือการเก็บน้ำตาล

น้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายบริสุทธิ์ที่ออกจากหม้อปั่นปกติจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 1–2 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นจะมีการใช้ไอน้ำอบไล่ความชื้นบางส่วนออกไปก่อนมากกว่าน้ำ อย่างไรก็ตามถ้าปล่อยให้มีความชื้นอยู่กับเม็ดน้ำตาลทราย น้ำตาลที่ชื้นนี้จะเสื่อมคุณภาพเร็วและถูกทำลายได้โดยง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการนำน้ำตาลที่ออกจากหม้อปั่นไปผ่านหม้ออบน้ำตาลก่อนนำไปบรรจุและเก็บต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 ลักษณะของกากน้ำตาล

กากน้ำตาล (molasses) เป็นกากที่แยกได้ครั้งสุดท้ายและไม่ถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายอีก เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกน้ำตาลได้อีกต่อไป มีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม มีสัดส่วนปริมาณ 4–5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอ้อยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลทราย มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (จักรินทร์ เพ็ชรงาม และคณะ, 2547) และในตารางที่ 2.5 ได้แสดงถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของกากน้ำตาลที่ผลิตจากหัวบีทในประเทศสเปน ดังนี้

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของกากน้ำตาล

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
pH	5.2	-
COD	80.5	กรัม/ลิตร
TS	109.0	กรัม/ลิตร
VS	79	กรัม/ลิตร
TSS	3.6	กรัม/ลิตร
Acetic acid	8.5	กรัม/ลิตร
Alkalinity ($CaCO_3$)	6.0	กรัม/ลิตร
Kjeldahl nitrogen	1.8	กรัม/ลิตร
Total phenols	0.450	กรัม/ลิตร

ที่มา : Jimenez และคณะ, 2004

2.3.3 การใช้ประโยชน์จากกากน้ำตาล

กากน้ำตาลใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีราคาถูก และเหมาะสมต่ออุตสาหกรรมการหมักต่างๆ เช่น การผลิตยีสต์ทำขนมปัง การผลิตผงชูรส การผลิตแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น

อุตสาหกรรมการผลิตเหล้าและแอลกอฮอล์เป็นแหล่งใหญ่ที่ต้องการกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรม ผลผลิตที่ได้จากการหมักกากน้ำตาลได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ บิวธิลแอลกอฮอล์ อาซีโตน กรดซิตริก กลีเซอรอล (glycerol) และยีสต์

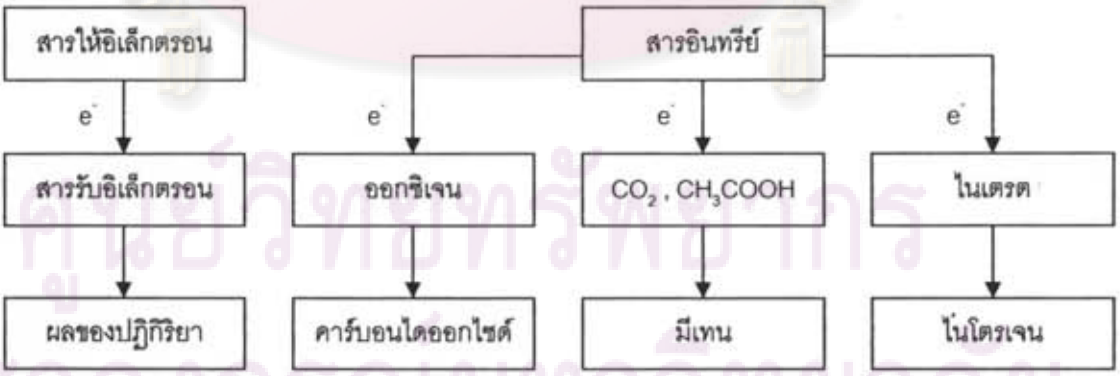
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารประกอบอื่นที่ได้จากการหมักกากน้ำตาล ได้แก่ เอธิลอาซีเตท บิวธิลอาซีเตท อามีลอาซีเตท น้ำส้มสายชู และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง สาเหล้าหรือยีสต์ที่ตายแล้วจากการผลิตแอลกอฮอล์เป็นผลพลอยได้ซึ่งนำไปทำอาหารสัตว์ นอกจากนี้กากน้ำตาลยังใช้ทำยีสต์สำหรับทำขนมปังและเหล้าได้ด้วย ยีสต์บางชนิดที่ให้โปรตีนสูงคือ Torulopsis utilis ก็สามารถเลี้ยงขึ้นมาได้จากกากน้ำตาล และกากน้ำตาลสามารถนำมาทำกรดเป็นแลคติกได้แม้ว่าจะทำได้น้อยมาก (จักรินทร์ เพ็ชรงาม และคณะ, 2547)

2.4 การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

2.4.1 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ล้วนแต่มีกลไกพื้นฐานร่วมกัน กล่าวคือทั้งคู่เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้และสารรับอิเล็กตรอน สารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน (เนื่องจากมีพลังงานอยู่ในตัวสูง) และสารอย่างอื่นที่อยู่ในน้ำเป็นสารรับอิเล็กตรอน ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน จากรูปที่ 2.3 ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ออกซิเจน แต่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนเตรตหรือซัลเฟต ปฏิกิริยาก็เป็นแบบไร้ออกซิเจน



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย

ที่มา : มั่นสิน ตัลทุลเวศม์, 2542

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีหน้าที่ 2 ประการ คือ บำบัดสลัดจ์หรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ (อาจเป็นจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใดๆ ก็ได้) และบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาในด้านการบำบัดสลัดจ์ กระบวนการไร้ออกซิเจนมักเป็นส่วนหนึ่งที่จำเป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อพิจารณาในด้านการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการไร้ออกซิเจนมักเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลง ก่อนส่งต่อไปให้กระบวนการใช้ออกซิเจนทำการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ วิธีการเช่นนี้ช่วยประหยัดพลังงานและสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มากและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป

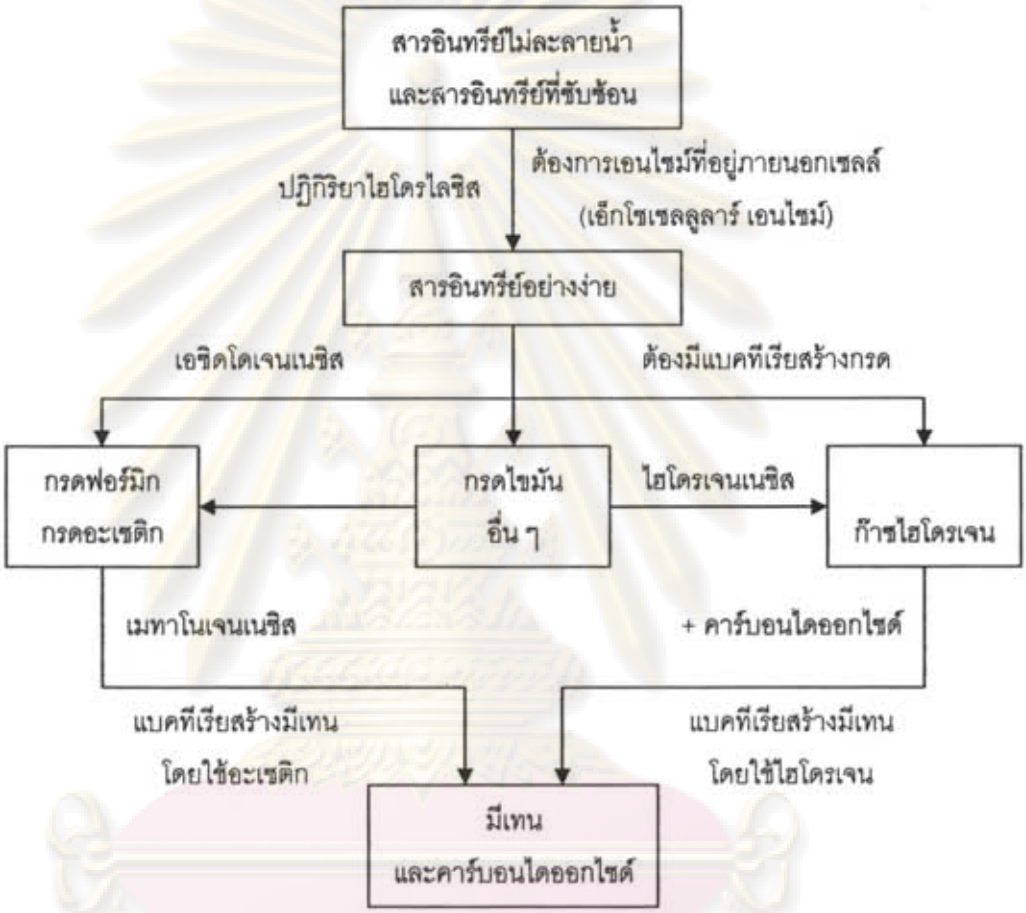
กระบวนการไร้ออกซิเจนมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดหลายประการ ลักษณะเฉพาะตัวเหล่านี้ล้วนสืบเนื่องมาจากลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน ยกตัวอย่างเช่น

1) กระบวนการไร้ออกซิเจนได้ก๊าซมีเทนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา
2) มีอัตราการสร้างตะกอนสลัดจ์ต่ำมาก
3) ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือต่ำมากได้
4) มีเสถียรภาพต่ำ
5) ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ

ลักษณะทั่วไปภายในถังปฏิกิริยาหรือถังย่อยไร้ออกซิเจน สารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกขนส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้เลย ส่วนสารประกอบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะต้องถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กจนสามารถถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดส์หลายครั้ง จนในที่สุดกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้ายมีหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.4

นอกจากนี้แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะเซติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยาที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรเจนนีซิส (Hydrogenesis) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน นักวิทยาศาสตร์จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-Methanogenic

Bacteria) แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งที่สามารถย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะเซติก เพื่อสร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียประเภทหลังนี้เรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)



รูปที่ 2.4 ลักษณะที่เป็นขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน

ที่มา : มั่นสิน ตัลทุลเวศม์, 2542

แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) และพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้าง (Facultative Anaerobes) ซึ่งแบคทีเรียประเภทแรกมีจำนวนมากกว่าประเภทหลังหลายสิบเท่า เนื่องจากเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียประเภทไม่สร้างมีเทนมีได้หลายแบบ ผลปฏิกิริยาที่ได้จึงเป็นไปได้ต่างๆ นานา ผลปฏิกิริยาที่เป็นโมเลกุลอย่างง่าย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก กรดอะเซติก และเมธานอล ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนผลปฏิกิริยาอย่างอื่นที่เกิดขึ้นด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอะเซติก หรือไฮโดรเจนหรือสารโมเลกุลอย่างง่ายตัวอื่นก่อน จึงจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเติบโตได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่พิถีพิถันในการเลือกชนิดอาหารมากและบอบบาง เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8–9.2 เป็นต้น แบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกสร้างมีเทนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน เรียกว่า Hydrogenotrophic Methanogen หรือเรียกสั้นๆ ว่า Hydrogen Utilizer แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรตได้ ทั้งนี้เนื่องจากมาจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ชนิดที่สองสร้างมีเทนจากกรดอะเซติกเรียกว่า Acetoclastic Methanogen

2.4.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนตามลำดับ (รูปที่ 2.5) ดังนี้

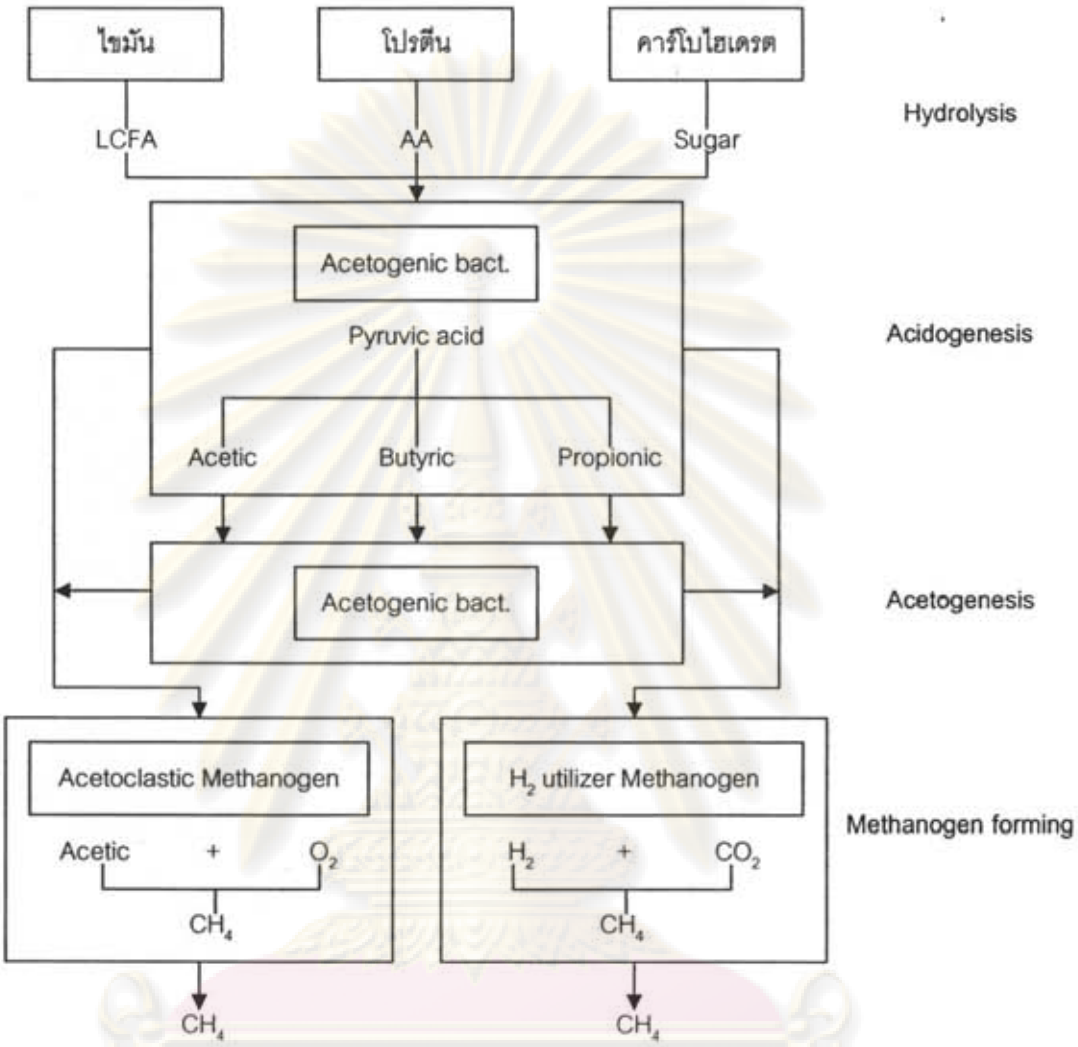
2.4.2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาวตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายดังกล่าว

2.4.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น อะเซติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก และชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรตและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นอะเซติกและไฮโดรเจน เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นบิวไทริกและโพรไพโอนิกเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไร้ออกซิเจน

ที่มา : McCarty, 1981

2.4.2.3 การสร้างกรดอะเซติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis) แบคทีเรียอะเซโตเจนิก (แบคทีเรียสร้างอะเซเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรตจำเพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะเซติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมธานอล และเมธิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสับสเตรตในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะเซโตจีนิก (ที่ผลิต

ไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และกรดอะเซติก ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า $2x10^{-3}$ บรรยากาศ และต่ำกว่า $9x10^{-3}$ บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$

ขั้นตอนการสร้างกรดอะเซติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะเซติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง

2.4.2.4 การสร้างมีเทน (Methanogen Forming)

กรดอะเซติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow CH_4 + H_2CO_3$$

$$4H_2 + H_2CO_3 \rightarrow CH_4 + 3H_2O$$

กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะเซติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะเซติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรต อย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมธานอล กรดฟอร์มิก

$$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$$

$$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$$

แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) Obligate Acetoclastic Methanogen สามารถบริโภคกรดอะเซติกได้เพียงอย่างเดียว โดยใช้เป็นแหล่งพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow CH_4 + H_2CO_3$$

2) Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (H_2 Utilizer) เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนได้จากไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว ในกรณีนี้ไฮโดรเจนเป็นพลังงานและมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน

$$4H_2 + H_2CO_3 \rightarrow CH_4 + 3H_2O$$

3) Hydrogenotrophic หรือ Acetoclastic Methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะเซติกหรือไฮโดรเจน แต่จะชอบไฮโดรเจนมากกว่า

2.5 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (Compost Maturity)

2.5.1 ความหมายและความสำคัญของการย่อยสลายที่สมบูรณ์

การย่อยสลายที่สมบูรณ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถบ่งบอกระดับของการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในการหมัก ซึ่งมีความสำคัญกับประสิทธิภาพของการนำไปวัสดุหมักใช้ประโยชน์ วัสดุหมักที่ยังไม่เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์จะมีผลไปหยุดยั้ง ขัดขวาง ทำลายการเจริญเติบโตของพืช หรืออาจทำให้พืชตายได้ ดังนั้นการย่อยสลายที่สมบูรณ์จึงเป็นเพียงขั้นหนึ่งของการหมักที่บ่งบอกได้ว่ากระบวนการหมักได้เสร็จสิ้นแล้ว

เมื่อทำการหมักอินทรียวัตถุ อนุภาคขนาดใหญ่จะถูกย่อยสลายจนมีขนาดอนุภาคและโครงสร้างเล็กลงจนได้อนุภาคสุดท้ายที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ธาตุอาหารพืช สารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ปุ๋ย ปุ๋ยที่เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วจะมีการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ช้าลง อนุภาคที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายก่อนจนกระทั่งเหลือเพียงอนุภาคที่ย่อยสลายได้ยาก การสังเกตลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยยากที่จะบอกได้ว่าปุ๋ยนั้นเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วจึงต้องอาศัยการทดสอบต่อไป

วัสดุหมักที่นำไปใช้กับพืชได้ต้องผ่านการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว เพื่อป้องกันมิให้ธาตุอาหารในรูปสารอนินทรีย์ถูกตรึงให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ (Immobilization) ซึ่งเกิดโดยจุลินทรีย์ในดินใช้สารอนินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณออกซิเจนและหรือไนโตรเจนในดินจะลดลงเนื่องจากกระบวนการที่กล่าวมานี้ทำให้พืชได้รับผลกระทบจากการขาด

ธาตุอาหาร อย่างไรก็ตาม วัสดุหมักที่ยังไม่เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ก็มีประโยชน์ในการเพิ่มอินทรียวัตถุให้ดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ได้ (Bio-Logic Environmental Systems, 2001)

2.5.2 วิธีทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์

การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมักวัดได้ด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (germination index) เป็นวิธีการที่สามารถวัดสารพิษต่อพืช (phytotoxic substance) ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยหมักได้โดยตรง ได้แก่ แก๊สแอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหมักปุ๋ยที่มีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ หน่วยที่วัดคำนวณค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีการทดสอบและการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก เรื่องวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

2.6 ธาตุอาหาร (Nutrients)

ธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำคัญการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เนื่องจากธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหาร เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยในกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและการหายใจ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาว่าแร่ธาตุใดจัดเป็นธาตุอาหารของพืช (สังคม เตชะเสถียร, 2550) คือ

1) ธาตุนั้นต้องมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการ และการสืบพันธุ์ของพืช ถ้าขาดธาตุหนึ่งธาตุใด จะทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาการ และการสืบพันธุ์ไม่สมบูรณ์

2) ความต้องการธาตุแต่ละธาตุต้องมีขอบเขตจำกัด และไม่สามารถทดแทนกันได้

3) ธาตุเหล่านั้นต้องมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการ และไม่เป็นสาเหตุที่ไม่ทำให้ธาตุชนิดอื่นเกิดความเหมาะสม หรือเป็นอันตรายต่อพืช

ธาตุอาหารของพืชมีอยู่ด้วยกัน 16 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง กำมะถัน โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอน แคลเซียม นอกจากนี้วิทยาการสมัยใหม่ยังค้นพบว่ายังมีอีกหลายธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นกัน แต่ไม่ถูกจัดไว้ในบัญชีรายชื่อธาตุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหาร เช่น นิเกิล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพิจารณาว่าธาตุอาหารพืชใดจัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักหรือธาตุอาหารรอง จะต้องพิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเป็นสำคัญ เนื่องจากวิทยาการสมัยใหม่กลับพบว่าธาตุอาหารพืชบางชนิดอาจเป็นธาตุอาหารรองในพืชชนิดหนึ่ง แต่อาจเป็นธาตุอาหารหลักในพืชอีกชนิดหนึ่งก็ได้ กลุ่มของรายชื่อธาตุอาหารที่ระบุข้างต้นนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.6.1 ธาตุอาหารหลัก (Macro-nutrients)

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือธาตุอาหารหลัก เรียกว่า Macro-nutrients มี 10 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม กำมะถัน

2.6.1.1 คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน (Carbon, C; Hydrogen, H; Oxygen, O)

ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 นี้ เป็นองค์ประกอบของทุกสารประกอบโดยประกอบกันเป็นสารประกอบ hydrocarbon และทุกเซลล์ของพืช โดยเป็นส่วนต่างๆ ในระดับเซลล์ ธาตุทั้ง 3 พืชมักไม่ขาดแคลนเพราะสามารถแสวงหาได้เองจากอากาศ

2.6.1.2 ไนโตรเจน (Nitrogen, N)

เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิค น้ำย่อย และคลอโรฟิลล์ ถ้าขาดธาตุไนโตรเจนพืชจะไม่เจริญเติบโต ไนโตรเจนจะสูญเสียจากดินได้ง่ายมากในรูปของก๊าซไนโตรเจน พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะแสดงอาการที่เรียกว่า chlorosis โดยใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและหลุดร่วงไป ส่วนใบอ่อนยังคงมีสีเขียว เพราะธาตุนี้เคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อน ในบางครั้งพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนส่วนของลำต้น ก้านใบ ใบล่างๆ จะมีสีชมพูถึงม่วง เพราะสะสมสาร anthocyanin ไว้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป พืชจะมีการเจริญเติบโตทางกิ่งใบมาก ใบพืชจะเป็นสีเขียวแก่ ลำต้นอวบอ้วน ระบบรากไม่เจริญเติบโต และเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ช้าลง

2.6.1.3 ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)

ทำหน้าที่ในการนำพลังงาน (ATP, adenosine triphosphate) และเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีฟอสเฟต เช่น sugar phosphate, nucleotides, nucleic acid, phospholipids และ coenzymes บางชนิด ฟอสเฟตเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่างๆ ของพืชได้

ง่าย และสะสมอยู่ในใบอ่อน ดอกที่กำลังเจริญ เมล็ด แต่ก็สูญเสียได้ง่ายจากใบแก่ของพืช การขาดธาตุฟอสฟอรัสจะแสดงอาการที่ใบที่เจริญแล้ว พืชจะมีลำต้นแคระแกร็น มีสีเขียวแก่ บางครั้งเป็นสีม่วงจากการสะสม anthocyanin

2.6.1.4 โพแทสเซียม (Potassium, K)

คล้ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัส สามารถเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อนได้ง่าย แต่โพแทสเซียมไม่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ โพแทสเซียมทำหน้าที่เป็น coenzyme หรือตัวกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิด ในพืชใบเลี้ยงคู่จะแสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียมที่ใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง โดยจะเกิด chlorosis กระจายทั่วไป ส่วนพวกพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเซลล์ที่ปลายใบและขอบใบจะตายก่อน แล้วแผ่ไปยังเซลส่วนอื่นที่อยู่ต่ำลงไป

2.6.1.5 แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ ในอวัยวะที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ เช่น ในราก แมกนีเซียมจะไปกระตุ้นเอ็นไซม์ให้ดึงเอาพลังงานออกจาก ATP นอกจากนี้แมกนีเซียมยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ ribosome ในการสร้างโปรตีน พืชที่ขาดธาตุแมกนีเซียมจะแสดงอาการ chlorosis ที่บริเวณเส้นใบของใบแก่

2.6.1.6 เหล็ก (Iron, Fe)

ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์ในการสร้างคลอโรฟิลล์ และมีส่วนในการพาอิเล็กตรอน (electron carrier) ในขบวนการหายใจและสังเคราะห์แสง โดยเป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลของ cytochrome และเป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์ ferredoxin ที่ทำหน้าที่เป็น electron carrier และเอ็นไซม์ nitrate reductase ในการเปลี่ยนรูปไนเตรทเป็นแอมโมเนีย การขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิด chlorosis ที่เส้นใบของใบอ่อน เนื่องจากธาตุนี้มีการเคลื่อนย้ายได้ยาก

2.6.1.7 แคลเซียม (Calcium, Ca)

จะไปรวมตัวกับ pectate ในส่วน middle lamella ของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์เชื่อมต่อกัน นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอ็นไซม์ α-amylase ในการย่อยแป้งที่สะสมอยู่ การขาดธาตุนี้ทำให้ตาไม่เจริญและทำให้ปลายรากตายได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.1.8 กำมะถัน หรือซัลเฟอร์ (Sulfur, S)

เป็นองค์ประกอบของโปรตีนบางชนิดที่สำคัญ คือ coenzyme A ซึ่งใช้ในขบวนการหายใจ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังพบในวิตามิน thiamine และ biotin เป็นต้น การขาดธาตุซัลเฟอร์จะแสดงอาการ chlorosis ที่ใบอ่อน เพราะซัลเฟอร์ไม่เคลื่อนย้ายออกจากใบแก่

2.6.2 ธาตุอาหารรอง (Micro-nutrients)

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือธาตุอาหารรอง มี 6 ธาตุ เรียกว่า Micro-nutrients ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอน

2.6.2.1 แมงกานีส (Manganese, Mn)

กระตุ้นเอ็นไซม์หลายชนิดเพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน (fatty acid) , DNA, RNA และเอ็นไซม์ที่ใช้ในวัฏจักรเครปส์ (Kreb's cycle) ในขบวนการหายใจ และเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสังเคราะห์แสงโดยเป็นตัวพาอิเล็กตรอนจากการแตกตัวของน้ำ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสร้างคลอโรฟิลล์ พืชที่ขาดธาตุนี้จะเกิด chlorosis ทั้งในใบแก่และใบอ่อน และเกิดตุ่มแผลสีน้ำตาล (necrotic lesions) ในใบ

2.6.2.2 ทองแดง (Copper, Cu)

ทำหน้าที่ในการพาอิเล็คตรอนและเป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์บางชนิด นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญของ enzyme nitrate reductase ในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogenfixation) พืชที่ขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเขียวแก่และบิดเบี้ยวหรือรูปร่างใบผิดปกติ ทำให้เกิดแผลสีน้ำตาลเป็นจุดๆ ทำให้ใบอ่อนของส้มแห้งตายจากยอดลงมา (die back)

2.6.2.3 โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo)

ทำหน้าที่ในการพาอิเล็กตรอนและมีบทบาทในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ พืชที่ขาดธาตุนี้แสดงอาการหลายอย่าง เช่น การที่ช่อดอกไม่เป็นกระจุกและแทงดอกย่อยออกเป็นเส้นๆ (whip tail) ของกะหล่ำดอก และบรอคโคลี ลักษณะใบเป็นจุดสีเหลือง (yellow spot) ของส้ม การเกิด chlorosis บริเวณเส้นใบของใบแก่ และใบที่อยู่กลางลำต้น และลุกลามไปถึงใบอ่อน เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.2.4 สังกะสี (Zinc, Zn)

จำเป็นต่อการสร้างฮอร์โมน เช่น IAA และเป็นส่วนสำคัญของเอ็นไซม์หลายชนิด พืชที่ขาดธาตุนี้จะแสดงอาการใบเล็กลงและใบเกิดรวมเป็นกระจุก (rosette) เพราะปล้อง (internode) ไม่ยืดตัว ขอบใบย่น (distored) และม้วนเข้าหากัน (puckered) พืชบางชนิดอาจเกิด chlorosis บริเวณเส้นใบและลำต้นเจริญเติบโตช้า

2.6.2.5 คลอรีน (Chlorine, Cl)

ทำหน้าที่ในการกระตุ้นการสังเคราะห์แสง โดยเป็นตัวกระตุ้นให้น้ำเกิดการแตกตัวปลดปล่อยออกซิเจน พืชที่ขาดธาตุนี้จะแสดงอาการใบเหี่ยว เกิดอาการ chlorosis และใบเปลี่ยนเป็นสีขาวตะกั่ว รากจะสั้นแต่อ้วน บริเวณปลายรากจะบวมพองออก

2.6.2.6 โบรอน (Boron, B)

ช่วยในการขนย้ายอาหารสะสม พืชที่ขาดธาตุนี้จะแสดงอาการในส่วนเนื้อเยื่อเจริญ (meristem) ของลำต้นและรากโดยเนื้อเยื่อจะแยกจากกัน พืชแต่ละชนิดจะแสดงอาการขาดธาตุนี้แตกต่างกัน เช่น ไส้เน่า (heart rot) ในพวกผักกาดหัว บีท ลำต้นแตก (stem crack) ในขึ้นฉ่าย แกนหัวฉ่ำน้ำ (water core) ในหัวผักกาด แห้งเป็นจุดๆ (drought spot) ในแอปเปิล เป็นต้น

อาการขาดธาตุอาหารและอาการเป็นพิษของพืชจากการได้รับธาตุอาหารต่างๆ มากเกินแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดของอาการที่เกิดกับพืชเมื่อพืชขาดธาตุอาหาร และการได้รับธาตุอาหารมากเกินไป ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 อาการขาดธาตุอาหารและอาการเป็นพิษของพืชจากการได้รับธาตุอาหารมากเกิน

ธาตุอาหาร	อาการขาดธาตุอาหาร	อาการเป็นพิษเมื่อได้รับมากเกิน
ไนโตรเจน (N)	การเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก และใบมีสีเหลืองซีดจากการขาดคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะบริเวณใบแก่ ใบอ่อนจะยังคงมีสีเขียวนานกว่า ในพืชพวกข้าวโพดและมะเขือเทศ ลำต้น ก้านใบ ผิวใบด้านล่างเปลี่ยนเป็นสีม่วงได้	พืชมีสีเขียวเข้มร่วมกับอาการเฉื่อยใบ ระบบรากถูกจำกัด ในมันฝรั่งจะมีหัวเล็กลง การออกดอกออกผลของพืชจะช้าลง (พืชแก่ช้า)
ฟอสฟอรัส (P)	พืชจะแคระแกร็นและมีสีเขียวเข้ม มีการสะสมสารสีของแอนโทไซยานิน อาการขาดเบื้องต้นจะเกิดในใบแก่และทำให้พืชแก่ช้า	บางครั้งอาการที่ปรากฏจะคล้ายกับอาการขาดธาตุทองแดงและสังกะสี หากได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป
โพแทสเซียม (K)	ในเบื้องต้นสังเกตได้ที่ใบแก่ในพืชใบเลี้ยงคู่ ใบจะมีสีซีด ในระยะต่อมาจะพบจุดสีเข้มที่เนื้อใบตายกระจายเป็นจุด ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวหลายชนิดบริเวณปลายใบและเส้นใบจะตายก่อน อาการขาดโพแทสเซียมในข้าวโพดลำต้นจะอ่อนแอ	เนื่องจากพืชมักจะดูดใช้โพแทสเซียมมากเกินไป ในส้ม ผลส้มจะมีผิวหยาบ เมื่อพืชดูดใช้โพแทสเซียมที่มากเกินไปจะชักนำให้พืชมีอาการขาดแมกนีเซียมและเป็นไปได้ว่าจะขาดแมงกานีส, สังกะสี และเหล็ก
กำมะถัน (S)	ไม่ค่อยจะพบมากนัก แต่ถ้าเกิดอาการขาดโดยทั่วไปใบมักจะมีสีเหลือง โดยเกิดที่ใบอ่อนก่อน	ลดการเจริญเติบโตและขนาดของใบ ซึ่งยากต่อการสังเกต บางครั้งพบว่าใบเหลืองหรือใบไหม้
แมกนีเซียม (Mg)	เกิดอาการซีดในพื้นที่ใบที่อยู่ระหว่างเส้นใบ ในขณะที่เส้นใบยังคงเขียวอยู่ อาการซีดจะเกิดที่ใบพื้นที่บริเวณใกล้เส้นกลางใบก่อนแล้วลามไปที่ปลายใบ โดยเกิดในใบแก่ก่อน	มีข้อมูลน้อยมาก เนื่องจากยากต่อการสังเกต
แคลเซียม (Ca)	การพัฒนาของตายอดจะชะงักการเจริญเติบโต และปลายรากจะตาย จะเกิดในใบอ่อนก่อนใบแก่ และเส้นใบจะบิดเบี้ยว มีจุดแห้งตายของใบ	ยากต่อการสังเกต มักเป็นร่วมกันกับอาการเป็นพิษจากคาร์บอเนต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 อาการขาดธาตุอาหารและอาการเป็นพิษของพืชจากการได้รับธาตุอาหารมากเกิน

ธาตุอาหาร	อาการขาดธาตุอาหาร	อาการเป็นพิษเมื่อได้รับมากเกิน
เหล็ก (Fe)	อาการซีดคล้ายกับอาการขาดแมกนีเซียมแต่เกิดขึ้นในใบแก่	ในสภาพธรรมชาติมักไม่พบชัดเจนนักแต่เมื่อมีการพ่นเหล็กกับพืชทดลองว่าปรากฏเป็นเนื้อเยื่อมีลายเป็นจุดๆ
คลอรีน (Cl)	ใบมีอาการเหี่ยวแล้วค่อย ๆเหลืองแล้วตายเป็นลำดับหรือบางครั้งมีสีบรอนซ์เงินรากจะค่อยแคระแกรนและบางลงใกล้ปลายราก	ปลายใบหลังเส้นใบไหม้ เป็นสีบรอนซ์ใบเหลืองและใบร่วงและลางครั้งซีดขนาดใบเล็กลงอัตราการเจริญเติบโตลดลง
แมงกานีส (Mn)	อาการแรกมักจะซีดตรงระหว่างเส้นใบในใบอ่อนหรือแก่ขึ้นอยู่กับชนิดพืชแผลเนื้อเยื่อตายและใบร่วงในเวลาต่อมาคลอโรพลาสต์ไม่ทำงาน	บางครั้งมีสีซีดๆ อาการคล้ายกับขาดธาตุเหล็กในสับปะรด คือ คลอโรฟิลล์ไม่กระจายตัวการเจริญเติบโตลดลง
โบรอน (B)	อาการผันแปรตามชนิดของพืชลำต้นเนื้อเยื่อเจริญปลายรากมักตาย ปลายรากมักบวมมีสีซีดในเนื้อเยื่อพืชมักมีสีซีดไม่ทำงาน (โรคใบเน่าของพืช) ส่วนใบแสดงอาการต่าง ไปประกอบด้วยใบบางแตกง่าย (ผุ) ใบหงิก เหี่ยวเฉาและเป็นจุดสีซีด	ปลายใบเหลืองตามด้วยเนื้อเยื่อใบตายจากปลายใบหรือเส้นใบไปยังแกนใบ
สังกะสี (Zn)	ข้อปล้องของพืชสั้นและขนาดของใบเล็กเส้นใบมักปิดหรือย่นบางครั้งซีดระหว่างใบ	เกิดอาการซีดจากเหล็กเป็นพิษในพืช
ทองแดง (Cu)	การขาดทองแดงในสภาพธรรมชาติหายากใบอ่อนมีสีเขียวแก่และปิดหรือผิดรูปไปและมักพบจุดแผลตายบนใบ	การเจริญเติบโตลดลงตามด้วยสีซีดจากเหล็กเป็นพิษ แคระแกรน ลดการแตกพุ่มรากมีสีเข้ม และยางผิดปกติ
โมลิบดินัม (Mo)	สีซีดในพื้นที่ระหว่างเส้นกลางใบหรือทั้งเส้นกลางใบในใบแก่ คล้ายกับอาการขาดไนโตรเจนบางครั้งแกนใบไหม้เกรียม	ยากต่อการสังเกต ใบมะเขือเทศจะมีสีเหลืองทอง กล้วยกะหล่ำดอกจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงสด

ที่มา : อานัฐ ตันโช, 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

วัสดุเศษพืชทางการเกษตรจะมีสารประกอบคาร์บอนที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากการประเมินอัตราการย่อยสลายวัสดุต่างชนิดเพื่อผลิตปุ๋ยหมักพบว่าสามารถแบ่งวัสดุออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คือ กลุ่มที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 100:1 จัดเป็นวัสดุประเภทที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ กากอ้อย ขี้เลื่อย และแกลบ อีกกลุ่มหนึ่งจัดเป็นวัสดุประเภทที่ย่อยสลายง่าย มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 100:1 ได้แก่ ฟางข้าว เศษต้นข้าวโพด ข้าวฟ่าง เศษปอ ต้นถั่วต่างๆ และผักตบชวา

เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ต่างๆ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วง 20-30 นั้นถูกพิจารณาว่าเหมาะสมต่อเงื่อนไขการหมักในสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากหากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนเพื่อให้ได้โปรตีนที่ต้องการและมันจะไม่ทำปฏิกิริยาต่อกับคาร์บอนที่เหลือในวัตถุดิบทำให้อัตราผลผลิตก๊าซต่ำ หากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไป ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาและสะสมในรูปของแอมโมเนีย (NH_4) ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดด่างที่สูงกว่า 8.5 จะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนทำให้อัตราผลผลิตก๊าซจึงต่ำเช่นกัน ของเสียจากสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกวัว ควาย มีอัตราเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 24 ส่วนพวกพืชต่างๆ เช่น ฟางข้าว และขี้เลื่อย มีปริมาณคาร์บอนอยู่สูง ดังแสดงในตารางที่ 2.7 (Karki และ Dixit, 1984)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไว้ไม่เกิน 20/1 คือปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20/1 สำหรับปุ๋ยอินทรีย์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20/1 จะเกิดการย่อยสลายใหม่เมื่อใส่ในดิน ถ้าใช้ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดีอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบสารอินทรีย์

วัตถุดิบ	อัตราส่วน C/N
มูลเป็ด	8
มูลคน	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลสุกร	18
มูลแกะ	19
มูลวัว ควาย	24
ผักตบชวา	25
ตอซังพืชตระกูลถั่ว	29
มูลช้าง	43
เศษใบอ้อย	55
เปลือกข้าวโพด	60
ฟางข้าว	70
ตอซังข้าว	89
ฟางข้าวสาลี	90
ขี้เลื่อย	> 200

ที่มา : Karki และ Dixit, 1984

2.8 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer)

2.8.1 ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2542 คำว่า ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากซากพืชและซากสัตว์" ปุ๋ยอินทรีย์ตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี" ส่วนความหมายทางวิชาการด้านปฐพีวิทยา ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์สารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่างๆ ไม่ว่าจะทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน และก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อพืชจะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางชีวภาพก่อน" ปุ๋ย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อินทรีย์ที่สำคัญพบเห็นทั่วไป ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยน้ำหมักต่างๆ และการผสมปุ๋ยเคมีเข้าไปในปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้ปุ๋ยอินทรีย์นั้นจะกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์เคมีซึ่งถือว่าเป็นปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518

เป็นนโยบายของรัฐบาลที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตปุ๋ยอินทรีย์ใช้เอง ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยน้ำหมักต่างๆ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และเพื่อให้การใช้ปุ๋ยเคมีมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต่างๆ ไว้ใช้เองภายในกลุ่มไม่มีปัญหาในทางปฏิบัติเพราะไม่มีกฎหมายใดๆ ห้ามไว้

2.8.2 ปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน

ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ข้อ 1 รายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ กล่าวว่า ด้วยปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืชทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชากรเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ปัจจุบันมีผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์วางจำหน่ายในท้องตลาดมากมาย มีทั้งแบบเม็ด ผง และน้ำ ซึ่งพบว่าส่วนหนึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีคุณภาพต่ำ ทั้งปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก เหตุผลที่ทำให้มีการผลิตและจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดมากเพราะการขายปุ๋ยอินทรีย์จะมีกำไรต่อหน่วยสูงกว่าการขายปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่น้ำมันมีราคาแพง เกษตรกรที่ซื้อปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้หรือปุ๋ยที่โฆษณาว่าเป็นปุ๋ยธรรมชาติต่างๆ จะไม่ทราบถึงความคุ้มค่าของราคากับหน่วยธาตุอาหารพืชในปุ๋ยอินทรีย์ หรือแม้กระทั่งประโยชน์ที่จะได้จากปุ๋ยอินทรีย์ที่ซื้อมาใช้ ปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้จะมีราคาใกล้เคียงหรือต่ำกว่าปุ๋ยเคมีเล็กน้อย แต่จะมีคุณสมบัติในเรื่องปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าหรือน้อยกว่าปุ๋ยเคมีมาก แม้ว่าจำนวนชนิดของธาตุอาหารจะมีมากกว่าในปุ๋ยเคมี ดังนี้ เพื่อเป็นการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตรจึงออกประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง "ประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548" ประกาศฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ 2 เรื่อง คือ เพื่อควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์และเพื่อรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวมีการกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 11 รายการ ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข-1

ตารางที่ 2.8 รายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (Total P2O5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (Total K2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์*
11	สารหนู (Arsenic) แคดเมียม (Cadmium) โครเมียม (Chromium) ทองแดง (Copper) ตะกั่ว (Lead) ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548

หมายเหตุ : * การย่อยสลายที่สมบูรณ์ทดสอบโดยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.3 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือน้ำสกัดชีวภาพ

ต้องมีคุณสมบัติตามคำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2548 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข-2) ดังนี้

2.8.3.1 มีอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.8.3.2 ต้องไม่เจือปนด้วยปุ๋ยเคมีใดๆ

2.8.3.3 ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m)

2.8.3.4 ปริมาณไนโตรเจนจากผลิตภัณฑ์พืชไม่เกินร้อยละ 2 จากผลิตภัณฑ์สัตว์ไม่เกิน ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

2.8.3.5 ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ไม่เกิน 4.5

2.8.3.6 ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

2.8.3.7 ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528) ศึกษาการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้วิธีเทคโนโลยีที่เหมาะสม มี 4 วิธี ดังนี้ วิธีที่ 1 คือ เก็บน้ำกากส่า 6 เดือน ในฤดูฝนในบ่อเก็บกัก (Storage Lagoon) จากนั้นจึงระบายน้ำกากส่าจากบ่อเก็บกักไปยังลานตากในฤดูแล้งอีก 6 เดือน กากส่าที่ก้นบ่อทั้งสองบ่อสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่หากใช้วิธีนี้อาจมีปัญหาเรื่องกลิ่น วิธีที่ 2 คือ นำน้ำกากส่าเทลงในนาข้าวก่อนทำการปลูกข้าวโดยไถคลุกเคล้ากับดิน อัตราการใช้น้ำกากส่าคือ 10–50 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ หรือใช้กับพืชผักสวนครัว ไม้ประดับ ไม้ผล ไม้ยืนต้น พบว่าได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น วิธีที่ 3 คือ ใช้น้ำกากส่าราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น ถนนจะมีสภาพคล้ายราดด้วยยางมะตอยและไม่มีฝุ่นไป 15 วัน ต่อการราด 1 ครั้ง วิธีที่ 4 คือ ใช้น้ำกากส่าสดในการเลี้ยงปลาสลิด พบว่าอัตราที่เหมาะสมที่ทำให้ปลาสลิดเจริญเติบโตมากที่สุด คือ 0.6 ส่วนในพันส่วนโดยปริมาตร ต่อ 2 สัปดาห์ สำหรับบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตร ทั้ง 4 วิธีที่

กล่าวมานี้เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าประมาณ 2–20 บาท/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นราคาที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการกำจัดโดยวิธีเคี่ยวและเผา หรือการหมักก๊าซชีวภาพและการเติมอากาศ

วิทยา เหล็กไหล (2546) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารเร่ง พด.-1 และสารประกอบไนโตรเจนต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรม โดยแบ่งออกเป็น 6 สภาวะการทดลอง คือ สภาวะการทดลองย่อยสลายที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ลงในขี้เลื่อยไม้ยางพารา และสภาวะการทดลองย่อยสลายที่มีการเติมสารเร่ง พด.-1 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสารยูเรียในอัตราส่วน 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีการเติมสารเร่ง พด.-1 ร่วมกับยูเรีย 0.5 เปอร์เซ็นต์ และหมักเป็นระยะเวลา 9 วัน เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดนางรม และจากการเปรียบเทียบผลผลิตดอกเห็ดเมื่อใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการหมักและผ่านการหมัก 9 วัน โดยมีการเติมสารเร่ง พด.-1 และยูเรีย 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการหมักสามารถให้ผลผลิตดอกเห็ดจำนวน 5 รุ่น น้ำหนักรวมทั้งสิ้น 344.6 กิโลกรัมต่อก้อนเชื้อขี้เลื่อย 1,000 ก้อน และเมื่อใช้ขี้เลื่อยที่ผ่านการหมัก 9 วัน สามารถให้ผลผลิตดอกเห็ดจำนวน 6 รุ่น น้ำหนักรวมทั้งสิ้น 499.1 กิโลกรัมต่อก้อนเชื้อขี้เลื่อย 1,000 ก้อน

จักรินทร์ เพ็ชรงาม และคณะ (2547) ศึกษาการนำระบบบัดแบบชีวเคมีมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์หรือน้ำกากส่าซึ่งเหลือจากการกลั่นสุรา ในการทดลองนี้จะใช้น้ำกากส่าที่นำมาจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ องค์การสุรา จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดคือ *Trametes versicolor* ในถังบำบัดแบบเติมอากาศ พบว่าค่าความสกปรกลดลง โดยมีค่าอัลคาไลนิตี้ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ค่ากรดไขมันระเหยง่ายลดลง 93.85 เปอร์เซ็นต์ ค่าบีโอดีลดลง 98.68 เปอร์เซ็นต์ ค่าซีโอดีลดลง 78.46 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งแขวนลอยและปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง 79.34 และ 91.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลจากการตกตะกอนด้วยสารเคมีด้วยการทำจาร์เทสต์โดยสารเคมีที่ใช้คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยปูนขาว พบว่าน้ำกากส่าที่ทำการบำบัดด้วยเชื้อ *Trametes versicolor* สามารถที่จะทำการตกตะกอนได้เมื่อมีปริมาณน้ำกากส่าต่อปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 100 มิลลิลิตร/3 กรัม และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนเท่ากับ 6 ดังนั้นสรุปได้ว่าเชื้อ *Trametes versicolor* มีความสามารถในการลดความสกปรกของน้ำกากส่าได้ดี ซึ่งการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ได้

ธเรศ ศรีสถิตย์ และสุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม (2548) โครงการการสำรวจการปนเปื้อนของน้ำกากส่าในดินรอบๆ ที่เก็บกักกากส่าของโรงงานสุราในเขตภาคกลาง 3 จังหวัด ได้แก่ บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด จังหวัดนครสวรรค์ องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา และบริษัท ประมวลผล จำกัด จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของกากส่าและเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และดิน จากบริเวณรอบๆ ที่เก็บกักกากส่าของแต่ละจังหวัดในฤดูแล้งและฤดูฝน และนำมาวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างน้ำทำการวิเคราะห์หาค่าพีเอช อุณหภูมิ ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Solids, TVS) ซีโอดี บีโอดี สี ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) และสำหรับตัวอย่างดินทำการวิเคราะห์หาประเภทหรือลักษณะของดิน และอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด แต่ดัชนีที่ใช้ในการพิจารณาการปนเปื้อนของน้ำกากส่าจะพิจารณาจากค่าซีโอดี บีโอดี และอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด รวมทั้งการเลือกจุดที่ทำการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลและดิน ได้ทำการเลือกจุดที่ไม่มีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ และเป็นบริเวณทิศทางการไหลผ่านของน้ำใต้ดิน เพื่อหาการปนเปื้อนของน้ำกากส่าพบว่าในฤดูฝนที่บริษัท ประมวลผล จำกัด จังหวัดนครปฐม เกิดการปนเปื้อนของกากส่าที่บ่อน้ำผิวดินห่างจากบ่อเก็บกักกากส่า 3 เมตร และบ่อเจาะลึก 20 เมตร ซึ่งห่างจากบ่อเก็บกักกากส่าไปทางทิศใต้ 100 เมตร องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา พบการปนเปื้อนที่บ่อเจาะลึก 20 เมตร ซึ่งห่างจากบ่อเก็บกักกากส่าไปทางทิศตะวันตก 100 เมตร ส่วนบริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด จังหวัดนครสวรรค์ไม่พบการปนเปื้อน

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล (2548) การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มในการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทเศษผักและเศษใบไม้แห้ง โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 เศษผักและใบไม้แห้งสับและน้ำกลั่น ชุดที่ 2 เศษผักและใบไม้แห้งสับและEM1 (จากบริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด) ชุดที่ 3 เศษผักและใบไม้แห้งสับและEM2 (จากหจก.หนองบัวอุบล) ชุดที่ 4 เศษผักและใบไม้แห้งสับและDMO (จากแม่ปิง เกษตรธรรมชาติ) ผลการศึกษาของการทดลองทั้ง 4 ชุด เมื่อสิ้นสุดการหมักที่เวลา 45 วัน พบว่าอุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วง 21.7-22.2 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่างจะอยู่ในช่วง 7.71-8.01 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 28.59- 31.40 การลดลงของมวลจะอยู่ในช่วงร้อยละ 46.62-59.39 แร่ธาตุอาหารหลักไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม ชุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.35 : 0.11 : 2.36 ชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.26 :0.14:3.36 ชุดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.35 : 0.17:2.78 ชุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.26 :0.19:3.30 ส่วนความชื้นของถังหมัก

จะถูกควบคุมไว้ที่ระดับร้อยละ 50-60 คณะผู้วิจัยได้สรุปว่าจุลินทรีย์ DMO มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดีที่สุด

เลอวิทย์ ศรีบุญเรือง และคณะ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากถังหมักก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าด้วยวิธีชีวเคมี โดยนำน้ำกากส่าจากถังหมักก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ องค์การสุรา จังหวัดฉะเชิงเทรา มาทำการบำบัดในถังบำบัดแบบเติมอากาศด้วยเชื้อจุลินทรีย์ *Trametes versicolor* เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วนำไปบำบัดต่อโดยการตกตะกอนเคมีด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ในถังกวนและถังตกตะกอนเคมี และเข้าสู่ถังกรองทรายเป็นกระบวนการสุดท้าย โดยนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมาทำการทดสอบประสิทธิภาพของชุดบำบัดน้ำกากส่าจากถังหมักก๊าซชีวภาพด้วยวิธีชีวเคมี ก่อนการบำบัดน้ำกากส่ามีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.0 – 5.0 ค่าบีโอดี ประมาณ 29,000 – 45,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดี ประมาณ 90,000 – 130,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าการบำบัดน้ำกากส่าจากถังหมักก๊าซชีวภาพด้วยเชื้อ *Trametes versicolor* ที่สภาวะเติมอากาศในระยะเวลา 120 ชั่วโมง สามารถบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพการบำบัด 70.00 95.14 และ 51.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำมาบำบัดต่อโดยถังกวนและตกตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มสี เพิ่มขึ้นเป็น 94.77 98.02 98.88 และ 97.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนจะถูกนำไปบำบัดต่อโดยกระบวนการกรองด้วยทรายละเอียดในถังกรองทราย พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ความเข้มสี และความขุ่น มีค่า 97.53 99.07 99.64 98.12 และ 99.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีความเป็นกรดด่างที่ 6.97 การตรวจสอบปริมาณเหล็กหลังผ่านกระบวนการตกตะกอนและการกรองพบว่ามีปริมาณเหล็ก 0.3328 และ 0.0196 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ แม้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของชุดบำบัดน้ำกากส่าจากถังหมักก๊าซชีวภาพจะสูงแต่ค่าซีโอดี และบีโอดีที่ผ่านกระบวนการสุดท้ายแล้วยังมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 3,250 และ 325 mg/l ตามลำดับ

Tapas และคณะ (2002) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลอ้อยรวมถึงการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งน้ำกากส่าที่ได้มีค่าความเป็นกรดด่าง 4.0–4.3 ค่าบีโอดี 52–58 kg/m^3 ค่าซีโอดี 92–100 kg/m^3 และยังมีของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) 2.0–2.5 kg/m^3 ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการบำบัด 3 วิธี ได้แก่ วิธีแรก ทำการบำบัดโดย Anaerobic fixed film reactors จะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำ

กลับไปใช้เป็นพลังงานได้ วิธีที่ 2 ทำการบำบัดโดยการนำไปเผาที่ความร้อนสูง วิธีนี้สามารถบำบัดได้มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้พลังงานในการทำความร้อนสูง ต้องทำความสะอาดถังปฏิกิริยาเมื่อดำเนินการผ่านไป 120 ชั่วโมง อีกทั้งยังต้องใช้สารเคมีในการทำความสะอาด ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง วิธีที่ 3 นำน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากวิธีแรกไปผสมกับกากหม้อกรองจากกระบวนการตกผลึกน้ำตาล เพื่อทำปุ๋ยหมักขาย ปุ๋ยที่ได้มีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ไนโตรเจน 1.5–2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.5–2.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นวิธีที่ทำให้เกิดรายได้กลับมายังผู้ผลิตอีกด้วย

Jimenez และคณะ (2004) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนกับกากน้ำตาลที่ยังไม่ผ่านกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ และกากน้ำตาลที่ผ่านการหมักแอลกอฮอล์แล้ว (น้ำกากส่า) โดยใช้ *Penicillum decumbens* ทำการทดลองในstirred tank reactors ขนาด 1 ลิตร ประกอบไปด้วยชุดควบคุมที่ไม่มีการบรรจุตัวกลาง ถังปฏิกิริยาที่บรรจุ Saponite (Magnesium silicate) และถังบรรจุ Esmecite (Aluminium silicate) ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีของกากน้ำตาลที่ยังไม่ผ่านการหมักแอลกอฮอล์ 80.5 กรัม/ลิตร แปรเปลี่ยนปริมาตรในช่วง 12–140 มิลลิลิตร ค่าซีโอดีของน้ำกากส่า 23.0 กรัม/ลิตร แปรเปลี่ยนปริมาตรในช่วง 43–304 มิลลิลิตร พบว่าเมื่อค่าซีโอดีลดลงเหลือ 1–7 กรัม/ลิตร จะทำให้ค่าคงที่ของการดำเนินปฏิกิริยาค่อนข้างคงที่ ถังปฏิกิริยาที่บรรจุ Saponite สามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าถังที่บรรจุ Esmecite และถังควบคุมตามลำดับ และก๊าซมีเทนที่เกิดจากน้ำกากส่ามีค่ามากกว่าที่เกิดจากกากน้ำตาลประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์

Bouallagui และคณะ (2005) ศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยสลายแบบไร้อากาศในการนำเศษผักและเศษผลไม้กลับมาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเศษผักและเศษผลไม้ที่นำมาใช้มีค่าของแข็งทั้งหมด 8-18 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งระเหย 86–92 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารอินทรีย์ 75 เปอร์เซ็นต์ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1–6.8 กรัมของแข็งระเหย/วัน จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน 70–95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อจำกัดของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนี้คือการสร้างกรดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีค่าพีเอชลดลง และเกิดกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นจึงไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียประเภทที่สร้างมีเทน ดังนั้น การใช้ถังปฏิกิริยาแบบสองเฟส (Continuous two-phase system) โดยแยกถังที่เกิดปฏิกิริยาการสร้างกรดและการสร้างก๊าซมีเทนออกจากกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการสร้างก๊าซมีเทนดีขึ้น คือ ค่าของแข็งระเหย 95 เปอร์เซ็นต์ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.65 กรัมของแข็งระเหย/วัน จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน 420 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหย

Hati และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้น้ำกากส่าที่มีต่อคุณลักษณะของดินและอัตราการเจริญเติบโตของพืชในประเทศอินเดีย โดยได้ศึกษากับการปลูกถั่วเหลืองสลับกับการปลูกข้าวสาลี โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม คือ ไม่มีการเติมปุ๋ยเลย การใช้ NPK ในอัตราส่วน 30.0 : 26.7 : 24.9 กิโลกรัม/เฮคแตร์ กับถั่วเหลือง และ 100 : 26.7 : 24.9 กิโลกรัม/เฮคแตร์ กับข้าวสาลี ผสมกับปุ๋ยคอก 4 เมกกะกรัม/เฮคแตร์ การใช้น้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวโดยทำการเทน้ำกากส่าที่ระดับความลึกต่างๆ ของดิน ได้แก่ ที่ความลึก 2.5 เซนติเมตร จากผิวดินกับการปลูกถั่วเหลืองและข้าวสาลี ที่ความลึก 2.5 เซนติเมตร จากผิวดินกับถั่วเหลืองและ 1.25 เซนติเมตร จากผิวดินกับข้าวสาลี ที่ความลึก 5 เซนติเมตร จากผิวดินกับถั่วเหลืองและข้าวสาลี และที่ความลึก 5 เซนติเมตร จากผิวดินกับถั่วเหลืองและ 2.5 เซนติเมตร จากผิวดินกับข้าวสาลี พบว่าการเติมน้ำกากส่าทำให้ค่าสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) จุลชีพในดิน และค่าความนำไฟฟ้า (Electroconductivity : EC) ของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมและการเติม NPK ผสมกับปุ๋ยคอก ยิ่งเติมน้ำกากส่าที่ความลึกมากขึ้นก็มีผลให้ปริมาณ Organic Carbon จุลชีพในดิน และค่า EC ในดินเพิ่มขึ้น แต่กลับไม่มีผลต่อความเป็นกรดด่างของดิน ส่วนผลจากการเติมน้ำกากส่าที่เกิดกับคุณลักษณะของดินโดยรวมทำให้คุณภาพของดินดีขึ้น โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ น้ำหนักของเม็ดดินโดยเฉลี่ย (Mean Weight Diameter : MWD) ค่าความนำไฟฟ้าเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Hydraulic Conductivity) การกักน้ำ (Water Retention) และปริมาณของน้ำในดิน (Water Content) แต่ความหนาแน่นของดิน (Bulk Density) และค่าความชื้มผ่านของดิน (Penetration Resistance) ลดลง ในการทดลองเกี่ยวกับอัตราการเจริญเติบโตของพืช พบว่าการเติมน้ำกากส่าไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของถั่วเหลือง ส่วนผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของข้าวสาลีนั้น การเติม NPK ผสมกับปุ๋ยคอกทำให้ข้าวสาลีมีผลผลิตมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับการเติมน้ำกากส่าที่ความลึก 2.5 เซนติเมตร จากผิวดิน

Khaliq และคณะ (2006) ศึกษาการใช้แหล่งสารอาหารจากจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism : EM) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นฝ้าย โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 8 ชุด ได้แก่ การใช้สารอินทรีย์ (Organic Materials : OM) เพียงอย่างเดียว การใช้ EM เพียงอย่างเดียว การใช้ทั้ง OM และ EM การใช้ NPK (170 : 85 : 60 กิโลกรัม/เฮคแตร์) เพียงอย่างเดียว การใช้ ½ NPK กับ EM การใช้ ½ NPK กับ OM และ EM การใช้ NPK กับ OM และ EM และชุดควบคุมที่ไม่ใช้สารอาหารใดเลย พบว่าการใช้สารอินทรีย์ OM หรือ EM เพียงอย่างเดียวทำให้ต้นฝ้ายเจริญเติบโตไม่คงที่ เมื่อใช้ทั้ง OM และ EM ทำให้ได้ผลผลิตจากต้นฝ้ายเพิ่มขึ้น 44 % การใช้ NPK เพียงอย่างเดียวทำให้เกิดผล

ผลิตสูงสุด รองลงมาคือการใช้ ½ NPK กับ OM และ EM ซึ่งได้ปริมาณผลผลิตที่ใกล้เคียงกันมาก คือ 2,165 และ 2,091 กิโลกรัม/เฮคแตร์ ตามลำดับ แต่การใช้ EM เพียงอย่างเดียวกลับทำให้ได้ผลผลิตที่ลดลง ส่วนการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการใช้ ½ NPK กับ OM และ EM จะประหยัดการใช้ไนโตรเจนได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ EM จะทำให้ประสิทธิภาพของการนำ NPK และ OM ไปใช้ในพืชเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter)
2) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
3) เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity meter)
4) UV spectrophotometer
5) Elemental analyzer
6) Atomic absorption spectrophotometer (AAS)
7) ตู้อบ
8) ตู้ดูดควัน
9) Hot plate
10) Magnetic stirrer
11) เครื่องเขย่า
12) เตาหลุม
13) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
14) กระดาษกรอง
15) เครื่องแก้วต่างๆ
16) เวอร์เนียร์
17) ปากคีบ
18) เมล็ดถั่วเขียว (*Vigna radiate* seeds)
19) กล่องโฟม
20) กระดาษชำระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ

1) เศษผักบุ้งจีน (*Impomoea aquatic*)
2) เศษสับปะรด (*Ananus comosus*)
3) เศษปลา
4) น้ำกากส่า
5) กากน้ำตาล
6) น้ำสะอาด
7) จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganisms, EM)
8) ถังพลาสติกพร้อมฝาปิดขนาดบรรจุ 20 ลิตร
9) วาล์ว
10) กรวยพลาสติก
11) กระบอกตวง
12) เครื่องชั่งน้ำหนัก 5 กิโลกรัม
13) มีดและเขียง
14) เครื่องปั่นอาหาร

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ และศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ โดยใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราจังหวัดนครปฐม และทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการมูลฝอย หน่วยวิจัยกากจัดการของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

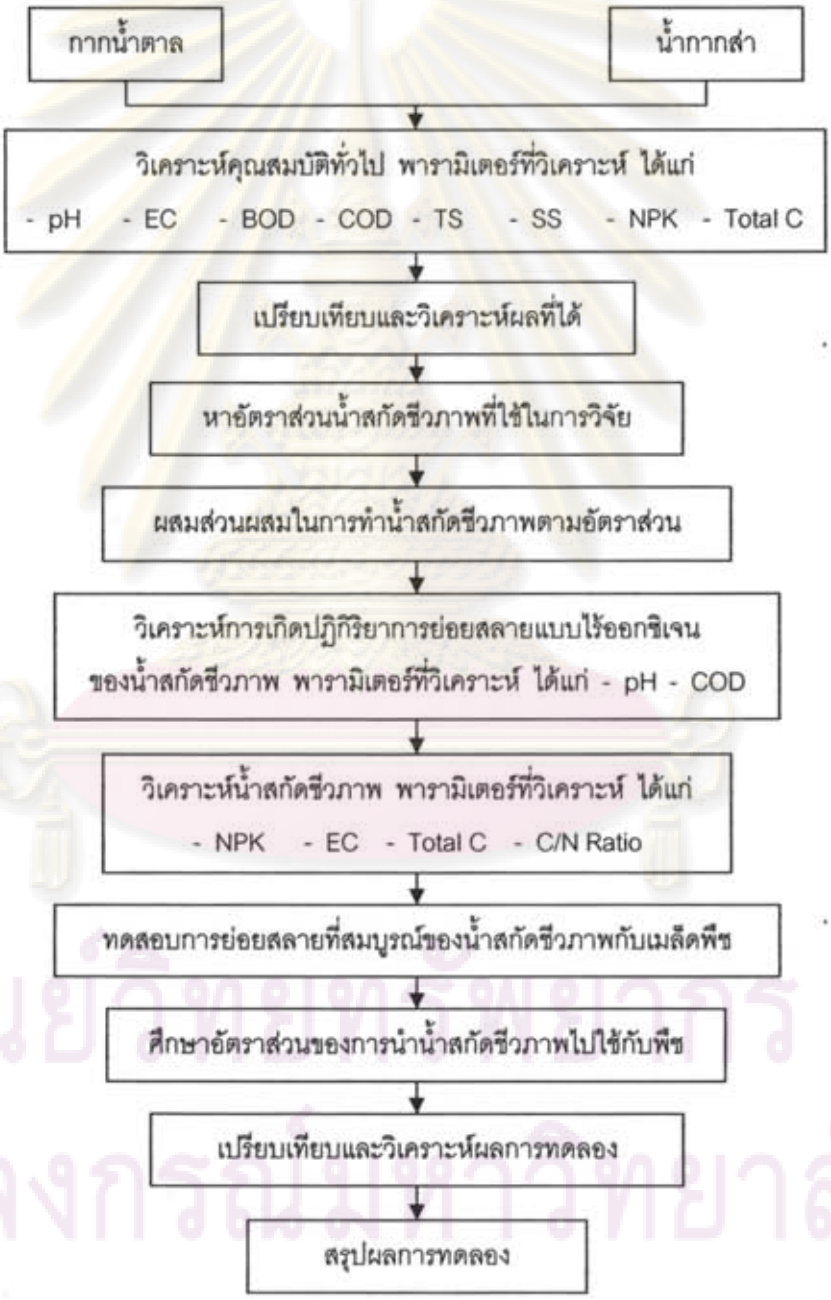
1) การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และการวิเคราะห์หาอัตราส่วนต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ
2) การทำน้ำสกัดชีวภาพตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้
3) การศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ
4) การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) การศึกษาการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพกับเมล็ดพืช โดยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

6) การศึกษาอัตราส่วนของการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช

โดยในรูปที่ 3.1 ได้แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และการวิเคราะห์หาอัตราส่วนต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ

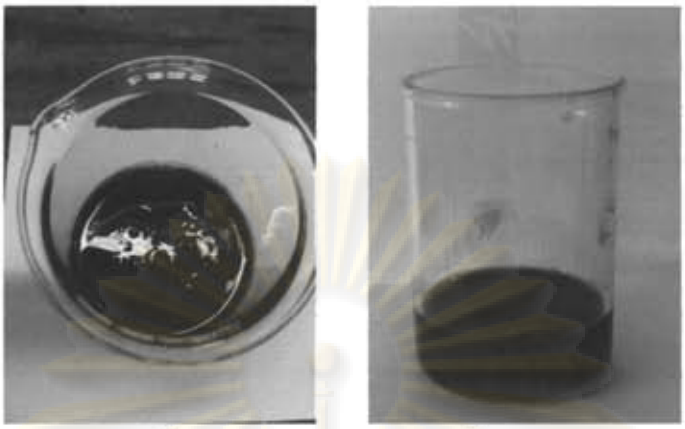
3.2.1.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า ซึ่งทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช (pH) ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) บีโอดี (Biochemical Oxigen Demand, BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P_2O_5) โพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) และคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 แสดงรูปกากน้ำตาลและน้ำกากส่าที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	หน่วย
pH	pH meter	-
Electrical Conductivity (EC)	Conductivity meter	dS/m
BOD	5-days BOD test	mg/l
COD	Close reflux method	mg/l
Total Solids (TS)	Dried at 103-105 ^{o}C	mg/l
Total Suspended Solids (TSS)	Dried at 103-105 ^{o}C	mg/l
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	Macro-Kjeldhal method	%
Available Phosphorus (P_2O_5)	Spectrophotometer	%
Water Soluble Potassium (K_2O)	Atomic absorption spectrophotometer	%
Total Carbon	Elemental analyzer	%

3.2.1.2 วิเคราะห์อัตราส่วนที่จะนำมาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ โดยอ้างอิงมาจากสูตรของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2547

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



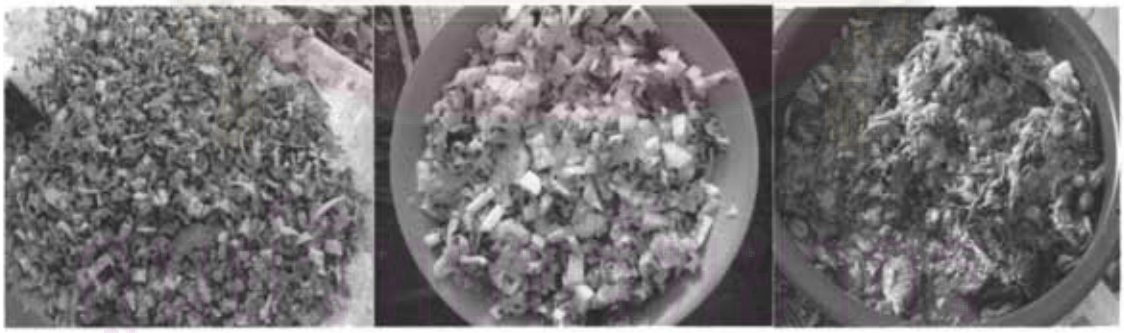
กากน้ำตาล น้ำกากส่า

รูปที่ 3.2 กากน้ำตาลและน้ำกากส่า

3.2.2 การทำน้ำสกัดชีวภาพตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้

3.2.2.1 ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ เศษผักที่ใช้คือเศษผักบุ้งจีน เศษผลไม้ที่ใช้คือเศษสับปะรด และเศษปลาที่ใช้เป็นเศษหัว หาง และไส้ ของปลา

3.2.2.2 สับเศษผัก เศษผลไม้ และเศษปลา ให้ละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.3



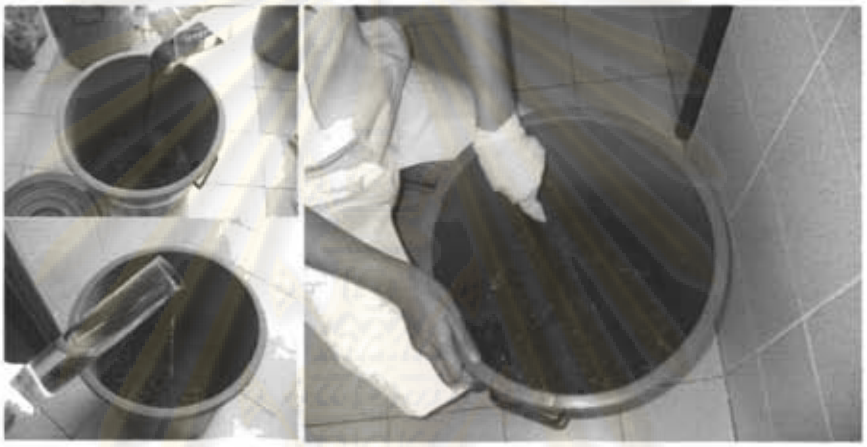
เศษผักบุ้ง เศษสับปะรด เศษปลา

รูปที่ 3.3 วัตถุดิบหลักที่ใช้ทำน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.3 เตรียมส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ เศษปลา กากน้ำตาล น้ำกากส่า น้ำ และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้

3.2.2.4 ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ลงในถังหมักซึ่งวางไว้ในที่ร่ม ณ อุณหภูมิห้อง คนส่วนผสมในถังหมักให้เข้ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วปิดฝาถังหมัก ซึ่งถังหมักน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการทำน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย

รูปที่ 3.5 ถังหมักน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 การศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ

3.2.3.1 เก็บตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพจากถังหมัก โดยทำการคนน้ำสกัดชีวภาพในถังหมักเสียก่อน

3.2.3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพในแต่ละอัตราส่วน ซึ่งทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ซีโอดี และพีเอช เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ ตามระยะเวลาการหมัก คือ 90 วัน

3.2.3.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบการดำเนินไปของปฏิกิริยาการย่อยสลายของน้ำสกัดชีวภาพ

3.2.4 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

3.2.4.1 เก็บตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพแต่ละอัตราส่วนจากถังหมัก โดยทำการคนน้ำสกัดชีวภาพในถังหมักเสียก่อน เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพ คือ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

3.2.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่า ซึ่งทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P_2O_5) โพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.2.4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	หน่วย
Electrical Conductivity (EC)	Conductivity Meter	dS/m
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	Macro-Kjeldhal method	%
Available Phosphorus (P_2O_5)	Spectrophotometer	%
Water Soluble Potassium (K_2O)	Atomic absorption spectrophotometer	%
Total Carbon	Elemental analyzer	%

3.2.5 **การทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพกับเมล็ดพืช โดยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช** (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง ปุ๋ยหมัก, 2548)

3.2.5.1 เตรียมสารละลายน้ำสกัดชีวภาพ โดยทำการเจือจางน้ำสกัดชีวภาพในน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:10 เขย่าให้เข้ากัน

3.2.5.2 ตีตารางบนกระดาษกรองจำนวน 10 ช่อง

3.2.5.3 วางเมล็ดพืชบนกระดาษกรองช่องละ 1 เมล็ด รวม 10 เมล็ด ต่อจานเพาะเมล็ด ทำอย่างน้อย 4 ซ้ำ โดยเมล็ดพืชที่นำมาใช้ทดสอบ คือ เมล็ดถั่วเขียว

3.2.5.4 ใส่สารละลายน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมไว้ในจานเพาะเมล็ด จานละ 3 มิลลิลิตร

3.2.5.5 ใส่น้ำกลั่นในจานเพาะเมล็ดควบคุม จานละ 3 มิลลิลิตร

3.2.5.6 บ่มจานเพาะเมล็ดในที่มืด อุณหภูมิ 28–30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.2.5.7 เก็บรวบรวมข้อมูลค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่อจาน (เปอร์เซ็นต์ความงอก) และวัดความยาวของรากแต่ละเมล็ดที่งอกทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ย (ความยาวราก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.5.8 คำนวณหาดัชนีการงอกของเมล็ดพืชโดยใช้สูตรดังนี้

$$A = \frac{B \times D}{C \times E} \times 100$$

โดยที่ A = ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (เปอร์เซ็นต์)

B = ความงอกในน้ำสกัดชีวภาพ (เปอร์เซ็นต์)

C = ความงอกในน้ำกลั่น (เปอร์เซ็นต์)

D = ความยาวรากในน้ำสกัดชีวภาพ (เซนติเมตร)

E = ความยาวรากในน้ำกลั่น (เซนติเมตร)

และตัวอย่างการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืชแสดงดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

3.2.6 การศึกษาอัตราส่วนของการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช

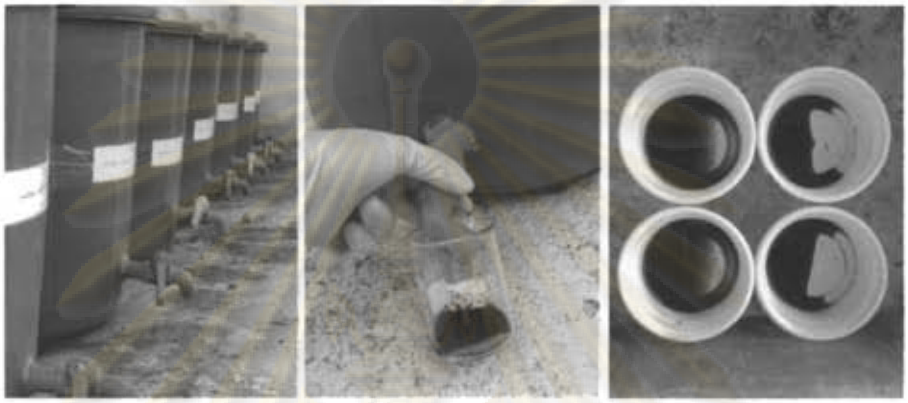
3.2.6.1 เตรียมสารละลายน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ระหว่างน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาด คือ 1:100, 1:250, 1:500, 1:750 และ 1:1000

3.2.6.2 ทำตามขั้นตอนของการทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพกับเมล็ดพืช โดยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช ตั้งแต่ข้อ 3.2.5.2 ถึง 3.2.5.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ตัวอย่างการเก็บน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ที่ได้จากการทดลองจะถูกเก็บเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามระยะเวลา ดังนี้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเก็บน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย

3.3.1 การศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี จะทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 7 วัน จนกระทั่งครบระยะเวลาการหมัก คือ 90 วัน

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพีเอช จะทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 3 วัน จนกระทั่งครบระยะเวลาการหมัก คือ 90 วัน

3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P_2O_5) โพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) จะทำการเก็บตัวอย่างวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ของระยะเวลาการหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพกับเมล็ดพืช

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพ จะทำการเก็บตัวอย่างวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ของระยะเวลาการหมัก

3.3.4 การศึกษาอัตราส่วนของการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพเพื่อศึกษาอัตราส่วนของการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช จะทำการเก็บตัวอย่างวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ของระยะเวลาการหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการใช้น้ำกากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำสกัดชีวภาพนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการนำน้ำกากส่ามาใช้แทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และศึกษาปฏิกิริยาการดำเนินไปของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่าที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 (ภาคผนวก ค) ดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

พารามิเตอร์	กากน้ำตาล	น้ำกากส่า
pH	5.16-5.21	4.18-4.20
Electrical Conductivity (dS/m)	108.30-108.45	72.50-72.60
BOD (mg/l)	72,000-76,000	34,000-38,000
COD (mg/l)	193,600-197,472	151,008-154,880
Total Solids (mg/l)	107,960-109,620	97,808-98,208
Total Suspended Solids (mg/l)	35,620-36,360	72,340-73,260
Total Kjeldahl Nitrogen (%)	0.93-0.96	0.73-0.77
Available Phosphorus (%)	0.12	0.35-0.36
Water Soluble Potassium (%)	4.16-4.21	4.72-4.80
Total Carbon (%)	27.58-27.81	5.43-5.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากากน้ำตาลมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มากกว่าน้ำกากส่า ได้แก่ พีเอช บีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และคาร์บอนทั้งหมด แต่ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุอาหารในกากน้ำตาลมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำกากส่า เนื่องมาจากน้ำกากส่าเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตสุราที่มีกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก

การหมักเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลที่มีเหลืออยู่ในกากน้ำตาลไปเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยยีสต์ จากการที่กิจกรรมของยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทิลแอลกอฮอล์ได้นั้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่มีในน้ำกากส่าน้อยกว่ากากน้ำตาล ทำให้แหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตในน้ำกากส่ามีน้อยกว่าในกากน้ำตาล และยังมีผลต่อค่าบีโอดีและซีโอดีของน้ำกากส่าด้วย ดังนั้นการกำหนดอัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพจึงต้องเพิ่มปริมาณน้ำกากส่าให้มากกว่ากากน้ำตาลเพื่อทดแทนแหล่งอาหารที่ขาดไป

4.2 การกำหนดอัตราส่วนต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ

อัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากเศษผัก (เศษผักบุ้งจีน) เศษผลไม้ (เศษสับปะรด) และเศษปลา ที่ใช้ในการวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ 4.2 น้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษผักบุ้งจีนเป็นวัตถุดิบ ตัวอย่าง P1-P7 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษสับปะรดเป็นวัตถุดิบ และตัวอย่าง F1-F7 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษปลาเป็นวัตถุดิบ โดยอัตราส่วนควบคุมของวัตถุดิบแต่ละชนิด ได้แก่ ตัวอย่าง W1, P1 และ F1 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ทำจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา ตามลำดับ โดยอัตราส่วนควบคุมนี้อ้างอิงมาจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2547 น้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W2-W4, P2-P4 และ F2-F4 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนผสมเป็นกากน้ำตาลและน้ำกากส่า โดยทำการควบคุมปริมาณกากน้ำตาลให้คงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณของน้ำกากส่า ส่วนน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W5-W7, P5-P7 และ F5-F7 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนผสมเป็นน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำน้ำกากส่ามาใช้แทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพ และศึกษาปฏิกิริยาการดำเนินไปของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัย

วัตถุดิบ	ชื่อตัวอย่าง	กากน้ำตาล (kg)	น้ำกากส่า (kg)	น้ำ (l)	EM (ml)
เศษผักบุ้งจีน 3.00 kg/ตัวอย่าง	W1	1.00	-	1.00	150
	W2	0.50	1.50	1.00	150
	W3	0.50	2.00	1.00	150
	W4	0.50	2.50	1.00	150
	W5	-	1.50	1.00	150
	W6	-	2.00	1.00	150
	W7	-	2.50	1.00	150
เศษสับปะรด 3.00 kg/ตัวอย่าง	P1	1.00	-	1.00	150
	P2	0.50	1.50	1.00	150
	P3	0.50	2.00	1.00	150
	P4	0.50	2.50	1.00	150
	P5	-	1.50	1.00	150
	P6	-	2.00	1.00	150
	P7	-	2.50	1.00	150
เศษปลา 3.00 kg/ตัวอย่าง	F1	1.50	-	1.50	200
	F2	0.75	2.25	1.50	200
	F3	0.75	3.00	1.50	200
	F4	0.75	4.50	1.50	200
	F5	-	2.25	1.50	200
	F6	-	3.00	1.50	200
	F7	-	4.50	1.50	200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่าพบว่าค่าบีโอดีของน้ำกากส่ามีค่าประมาณ 36,000 mg/l และกากน้ำตาลมีค่าประมาณ 74,000 mg/l ซึ่งค่าบีโอดีของกากน้ำตาลมีค่าประมาณ 2 เท่าของน้ำกากส่า ดังนั้นในอัตราส่วนน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยจึงจะใช้น้ำกากส่ามากเป็น 1.5, 2 และ 2.5 เท่าของกากน้ำตาลในอัตราส่วนควบคุมของตัวอย่างที่ใช้วัตถุดิบเป็นเศษผักบุ้งจีนและเศษสับปะรด ส่วนตัวอย่างที่ใช้เศษปลาเป็นวัตถุดิบนั้นจะใช้น้ำกากส่ามากเป็น 1.5, 2 และ 3 เท่าของกากน้ำตาลในอัตราส่วนควบคุม

เนื่องจากการทดลองเป็นแบบทีละเท (batch) ในการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ทำให้อัตราส่วนเริ่มต้น (จากตารางที่ 4.2) เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี จะทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 5 มิลลิลิตร เมื่อเริ่มต้นทดลองและทุก 7 วัน จนครบเวลาการหมัก 90 วัน รวมเป็นจำนวนการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 ครั้ง ดังนั้นปริมาณตัวอย่างที่เก็บไปทั้งหมดคือ 70 มิลลิลิตรต่ออัตราส่วน

2) การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ จะทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นทดลองและที่เวลาการหมักครบ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน รวมเป็นจำนวนการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 ครั้ง โดยเก็บครั้งละ 30 มิลลิลิตรต่ออัตราส่วน ดังนั้นปริมาณตัวอย่างที่เก็บไปทั้งหมดคือ 180 มิลลิลิตรต่ออัตราส่วน

จากการเก็บตัวอย่างข้างต้นทำให้ปริมาณตัวอย่างสูญเสียไปทั้งหมด 250 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง ซึ่งเมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาณตัวอย่างที่เสียไปจะได้ผลดังตารางที่ 4.3 และจากตารางพบว่าร้อยละของตัวอย่างที่สูญเสียไปจากการเก็บตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.75-5.03 และมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 3.85 โดยค่าดังกล่าวต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดและถือว่ายอมรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการลดลงของมวลตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพที่เกิดจากการเก็บตัวอย่าง

ชื่อตัวอย่าง	มวลน้ำสกัดชีวภาพก่อนเก็บตัวอย่าง (kg)	ปริมาตรน้ำสกัดชีวภาพที่ถูกเก็บตัวอย่าง (l)	มวลน้ำสกัดชีวภาพที่ถูกเก็บตัวอย่าง (kg)	ความหนาแน่นของน้ำสกัดชีวภาพ [1] (kg/l)	ร้อยละการลดลงของมวล [2]
W1	5.15	0.25	0.26	1.04	5.03
W2	6.15	0.25	0.25	1.02	4.14
W3	6.65	0.25	0.26	1.02	3.85
W4	7.15	0.25	0.26	1.02	3.57
W5	5.65	0.25	0.25	1.01	4.45
W6	6.15	0.25	0.25	1.02	4.14
W7	6.65	0.25	0.26	1.02	3.84
P1	5.15	0.25	0.26	1.03	5.02
P2	6.15	0.25	0.26	1.02	4.16
P3	6.65	0.25	0.26	1.02	3.84
P4	7.15	0.25	0.26	1.03	3.59
P5	5.65	0.25	0.25	1.01	4.48
P6	6.15	0.25	0.25	1.01	4.11
P7	6.65	0.25	0.25	1.01	3.80
F1	6.20	0.25	0.26	1.04	4.20
F2	7.70	0.25	0.26	1.03	3.34
F3	8.45	0.25	0.26	1.03	3.03
F4	9.95	0.25	0.26	1.04	2.60
F5	6.95	0.25	0.26	1.02	3.67
F6	7.70	0.25	0.25	1.01	3.28
F7	9.20	0.25	0.25	1.01	2.75

หมายเหตุ : [1] ความหนาแน่นของน้ำสกัดชีวภาพ (kg/l) = $\frac{\text{มวลน้ำสกัดชีวภาพที่ถูกเก็บตัวอย่าง (kg)}}{\text{ปริมาตรน้ำสกัดชีวภาพที่ถูกเก็บตัวอย่าง (l)}}$

[2] ร้อยละการลดลงของมวล = $\frac{\text{มวลน้ำสกัดชีวภาพที่ถูกเก็บตัวอย่าง (kg)} \times 100}{\text{มวลน้ำสกัดชีวภาพก่อนเก็บตัวอย่าง (kg)}}$

4.3 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพ

การศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าซีโอดีและพีเอช ซึ่งมีผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าซีโอดี

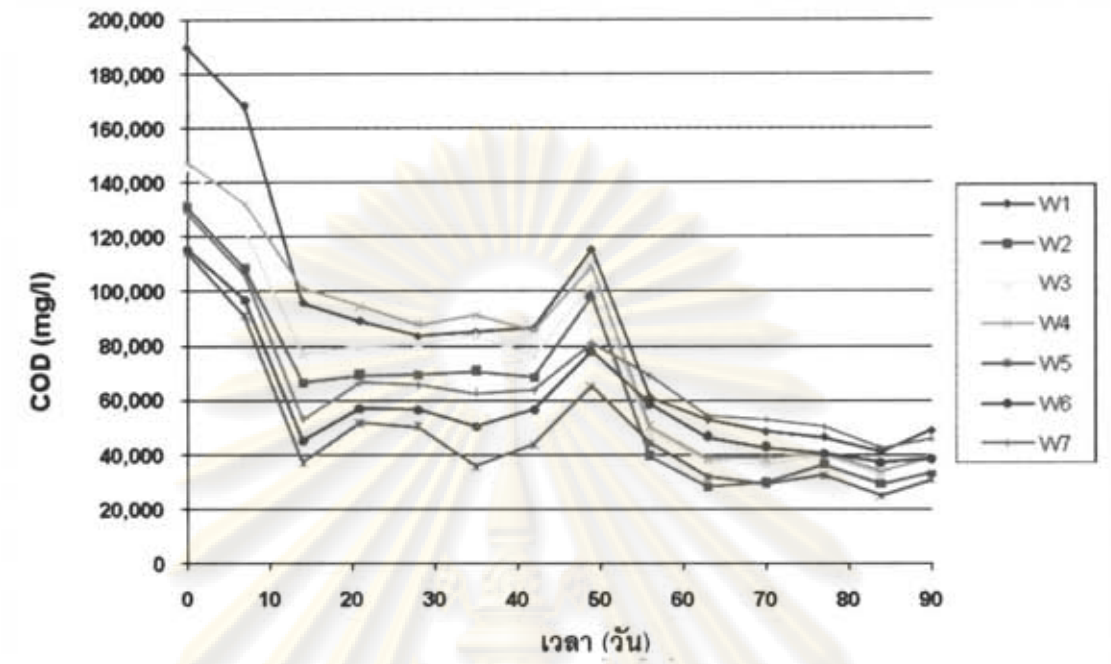
กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าซีโอดี โดยทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ทุก 7 วัน (ภาคผนวก ง) มีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.3.1.1 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตเศษผักบุ้งจีน

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษผักบุ้งจีนเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าแนวโน้มค่าซีโอดีของทุกตัวอย่าง (W1-W7) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 0-14 ของเวลาการหมัก และเริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 14-42 จากนั้นมีค่าสูงขึ้นในวันที่ 49 และเริ่มคงที่อีกครั้งเมื่อวันที่ 63 จนกระทั่งวันที่ 90 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการหมัก จากกราฟพบว่าตัวอย่างควบคุม W1 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ทำจากกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่าซีโอดีสูงกว่าตัวอย่างอื่น กลุ่มรองลงมาคือตัวอย่าง W4, W3 และ W2 ซึ่งทำมาจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และกลุ่มที่มีค่าซีโอดีต่ำที่สุดคือตัวอย่าง W7, W6 และ W5 ซึ่งทำมาจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว

จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งของจุลินทรีย์ที่มีในน้ำสกัดชีวภาพ ทำให้เกิดการลดลงของค่าซีโอดีในช่วงแรกของการหมักอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย คือ กากน้ำตาล และน้ำกากส่า ได้ย่อยสลายไปเป็นส่วนมากแล้ว เหลือเพียงเศษผักบุ้งจีนซึ่งย่อยสลายได้ยากกว่าเนื่องจากเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของพืช ดังนั้นค่าซีโอดีจึงลดลงอย่างช้าๆ จนเกือบคงที่ และเศษผักบุ้งที่เหลืออยู่หลังการหมักมีปริมาณน้อยและมีขนาดเล็กลงมาก

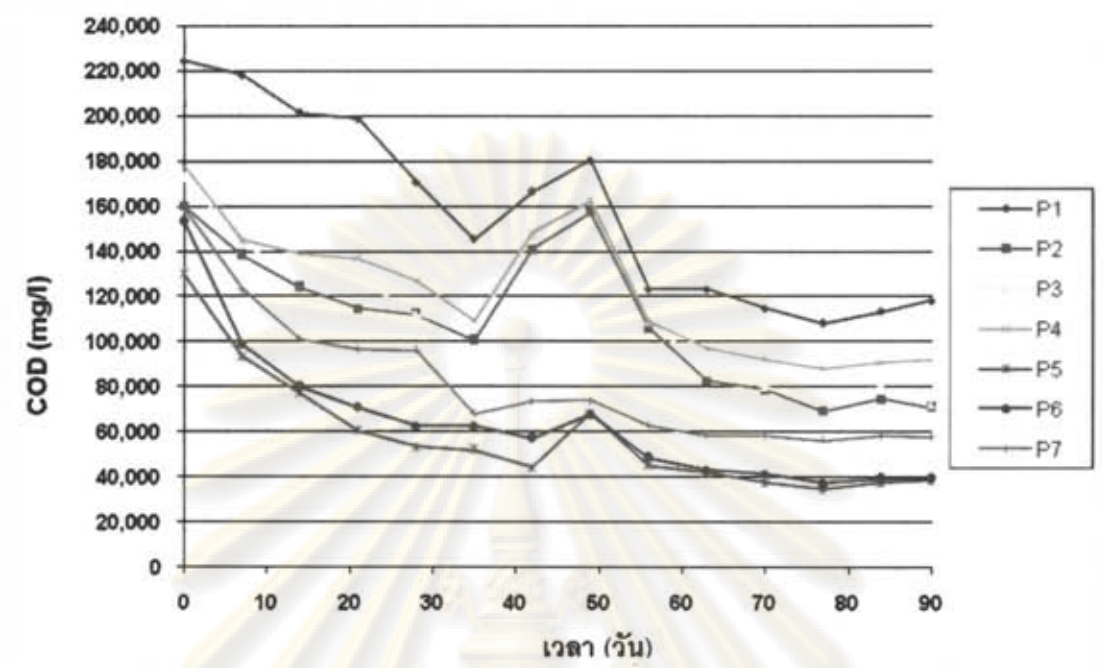
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน

4.3.1.2 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษสับปะรดเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.2 จากกราฟพบว่าแนวโน้มค่าซีโอดีของทุกตัวอย่าง (P1-P7) เป็นไปในทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน คือ มีค่าลดลงเรื่อยๆ จากวันแรกจนกระทั่งวันสุดท้ายของการหมัก ตั้งแต่วันที่ 0-35 ค่าซีโอดีลดลงอย่างต่อเนื่อง จากนั้นมีค่าสูงขึ้นและสูงสุดเมื่อวันที่ 49 ของการหมัก หลังจากนั้นจึงลดลงอีกและวันที่ 63 ของการหมักจึงลดลงอย่างช้าๆ จนเกือบคงที่ จากกราฟพบว่าค่าซีโอดีของแต่ละตัวอย่างนั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยตัวอย่างควบคุม P1 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ทำจากกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงที่สุด กลุ่มที่มีค่าซีโอดีรองลงมาคือตัวอย่าง P4, P3 และ P2 ที่ทำจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และกลุ่มที่มีค่าต่ำสุดคือตัวอย่าง P7, P6 และ P5 ที่ทำจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีค่าซีโอดีสูงสุดเมื่อมีปริมาณน้ำกากส่าในส่วนผสมมากที่สุดและมีค่าต่ำลงมาตามปริมาณน้ำกากส่าที่ลดลง



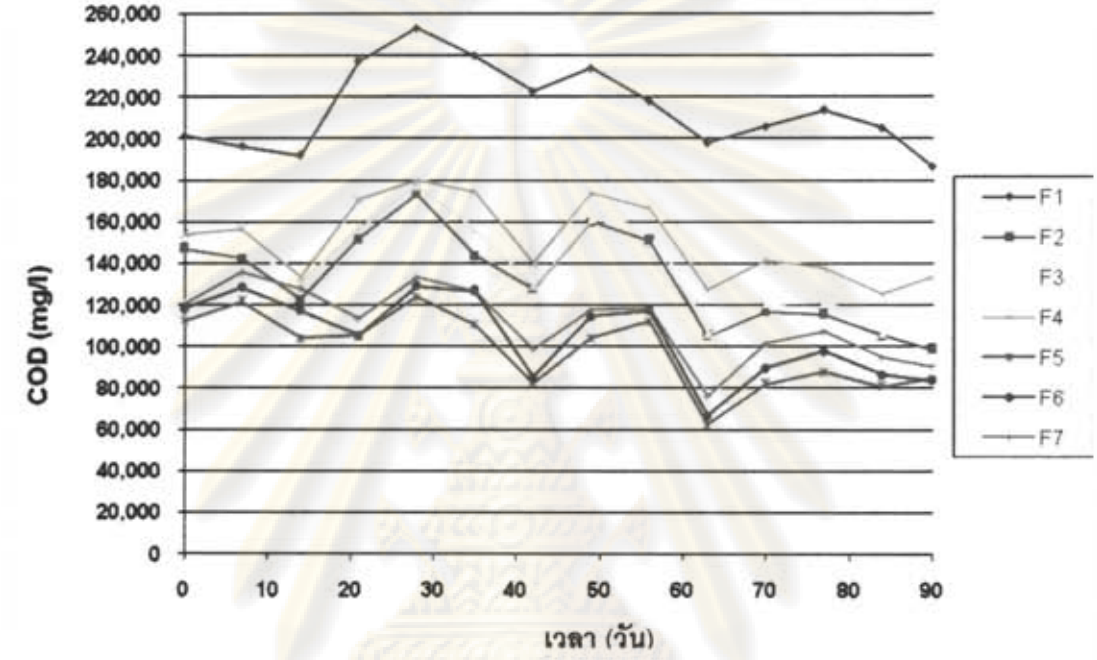
รูปที่ 4.2 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด

การลดลงของค่าซีโอดีนี้เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำสกัดชีวภาพซึ่งส่วนที่ย่อยสลายง่ายคือสารอินทรีย์ที่มีในกากน้ำตาลและน้ำกากส่า ส่วนเศษสับปะรดนั้นย่อยสลายได้ยากเนื่องจากเศษและเปลือกสับปะรดประกอบไปด้วยเซลลูโลส ซึ่งยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Panichnumsin และคณะ, 2000) และย่อยได้ยากกว่าเศษผักบุ้งทำให้ค่าซีโอดีเฉลี่ยสูงกว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้ง นอกจากนั้นเศษสับปะรดที่เหลืออยู่หลังการหมักไม่แตกต่างจากก่อนหมักเลย

4.3.1.3 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษปลาเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าแนวโน้มค่าซีโอดีของทุกตัวอย่าง (F1-F7) มีค่าลดลงแล้วเพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ อย่างต่อเนื่องกันไปตลอดระยะเวลาการหมัก แต่ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าสูงกว่าวันที่ 90 ของการหมักเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งค่าซีโอดีที่ลดลงของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาเมื่อครบระยะเวลาการหมักนี้น้อยกว่าการลดลงของค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนและเศษสับปะรด และสามารถ

สังเกตได้ว่าค่าซีโอดีของตัวอย่างควบคุม F1 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่าง F4, F3 และ F2 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ทำจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่า และกลุ่มตัวอย่าง F7, F6 และ F5 เป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ทำจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวเป็นกลุ่มซึ่งมีค่าซีโอดีต่ำที่สุด



รูปที่ 4.3 ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา

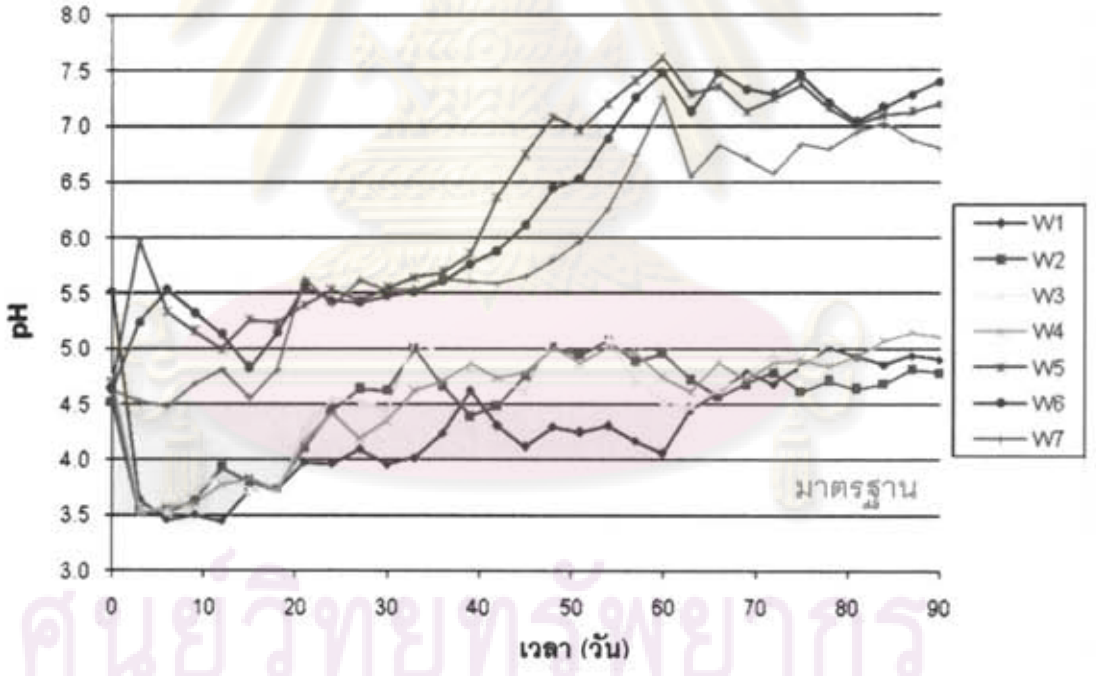
การเพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ ของค่าซีโอดีนั้น สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่เศษปลาได้เกิดการย่อยสลายทีละน้อย ซึ่งภายในถังหมักพบว่าเศษปลามีขนาดเล็กลงและมีส่วนที่เป็นไขมันลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำสกัดชีวภาพ เนื่องจากไขมันและเนื้อเยื่อของสัตว์ทำให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ช้าทำให้ค่าซีโอดีลดลงน้อยเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีเริ่มต้น

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าพีเอช

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำสกัดชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าพีเอช โดยทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ทุก 3 วัน (ภาคผนวก ง) มีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.3.2.1 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตเศษผักบุ้งจีน

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษผักบุ้งจีนเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างควบคุม W1 และกลุ่มตัวอย่าง W2-W4 ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมในน้ำสกัดชีวภาพในช่วง 0-3 วันแรกของการหมักมีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจนค่อนข้างคงที่ ตัวอย่างควบคุม W1 ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-5.0 ในวันที่ 21-60 ของการหมัก และค่าพีเอชในช่วง 4.5-5.0 ในวันที่ 63-90 ของการหมัก ตัวอย่าง W2-W4 ซึ่งมีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.5-5.0 ตั้งแต่วันที่ 24 จนถึงวันสุดท้ายของการหมัก ส่วนตัวอย่าง W5-W7 ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มของค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นจากวันที่ 0-60 ของการหมัก ตั้งแต่วันที่ 60-90 ของการหมัก ค่าพีเอชจะค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 6.5-7.5



รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

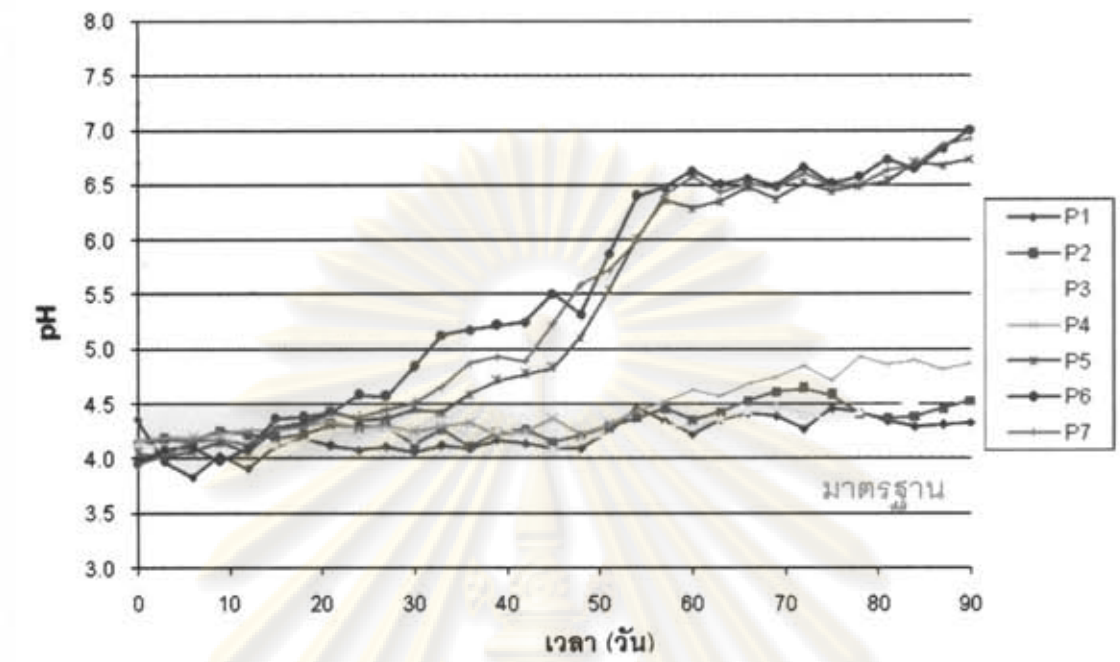
จากกราฟสามารถสังเกตได้ว่ากลุ่มตัวอย่าง W5-W7 มีค่าพีเอชสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มตัวอย่าง W2-W4 และตัวอย่างควบคุม W1 มีค่าพีเอชต่ำสุด ซึ่งค่าพีเอชนี้มีความสัมพันธ์กับค่าซีโอดี คือ เมื่อค่าซีโอดีลดลง พีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นของการหมัก หลังจากนั้นกรดจะถูกใช้ไปโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้ค่าพีเอชค่อยๆ เพิ่มขึ้น

4.3.2.2 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตเศษสับปะรด

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษสับปะรดเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยที่มีในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด พบว่าในช่วง 20 วันแรกของการหมักค่าพีเอชของทุกตัวอย่างใกล้เคียงกันมากคืออยู่ในช่วง 4.0-4.5 ค่าพีเอชของตัวอย่างควบคุม P1 มีค่าลดลงในช่วง 6 วันแรกของการหมัก จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงวันที่ 15-48 แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในช่วงพีเอช 4.0-4.5 กลุ่มตัวอย่าง P2-P4 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมมีค่าพีเอชค่อนข้างคงที่ในช่วง 4.0-4.5 ตั้งแต่วันแรกของการหมักจนถึงวันที่ 48 ของการหมักเช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุม จากนั้นค่าพีเอชจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.3-5.0 ส่วนกลุ่มตัวอย่าง P5-P7 มีค่าพีเอชประมาณ 4.0-4.2 ในวันที่ 0-12 จากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงวันที่ 12-60 หลังจากนั้นค่าพีเอชจึงคงที่อีกครั้งโดยมีค่าประมาณ 6.5-7.0

จากกราฟสามารถสังเกตได้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่าพีเอชแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดประมาณวันที่ 30 ของการหมัก โดยกลุ่มตัวอย่าง P5-P7 ซึ่งน้ำสกัดชีวภาพมีส่วนผสมของน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวมีค่าพีเอชสูงสุด ส่วนกลุ่มตัวอย่าง P2-P4 และตัวอย่างควบคุมมีค่าพีเอชต่ำกว่า และจากการที่สับปะรดเป็นผลไม้ที่มีกรดอินทรีย์ทำให้มีรสเปรี้ยว (Panichnumsin และคณะ, 2000) ค่าพีเอชเริ่มต้นมีจึงค่าต่ำ

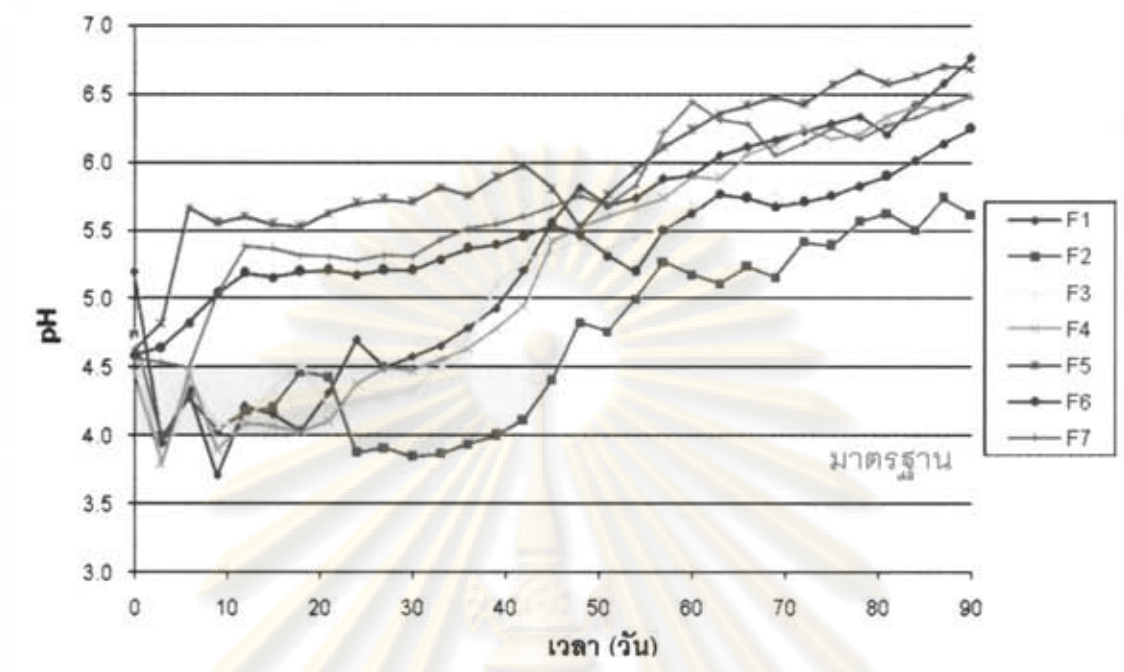
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด

4.3.2.3 น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตเศษปลา

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดช่วงเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่มีเศษปลาเป็นวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยที่มีในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา พบว่าตัวอย่างควบคุม F1 และกลุ่มตัวอย่าง F2-F4 ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมในน้ำสกัดชีวภาพมีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าพีเอชประมาณ 4.0 ในช่วง 0-3 วันแรกของการหมัก จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนค่าพีเอชในวันสุดท้ายของการหมักคือวันที่ 90 มีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ส่วนกลุ่มตัวอย่าง F5-F7 ซึ่งมีส่วนผสมคือน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวในน้ำสกัดชีวภาพมีค่าพีเอชสูงขึ้นจนมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.7 โดยในช่วงวันที่ 9-42 ของเวลาการหมักสามารถเห็นความแตกต่างของค่าพีเอชในน้ำสกัดชีวภาพได้ชัดเจนซึ่งกลุ่มตัวอย่าง F5-F7 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและกลุ่มตัวอย่าง F2-F4 แต่หลังจากวันที่ 45 ของการหมักตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพมีค่าพีเอชในช่วง 4.5-6.8 และไม่สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจนเหมือนกับน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนและเศษสับปะรด เนื่องจากเศษปลาย่อยสลายได้ยากจึงทำให้จุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์จากการย่อยสลายได้น้อยและช้า ดังนั้นค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลามีค่าสูงกว่าน้ำสกัดชีวภาพประเภทอื่น



รูปที่ 4.6 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา

การลดลงของค่าพีเอชเกิดจากกรดอินทรีย์ (กรดไขมันต่างๆ และกรดอะมิโน) ที่ผลิตได้จากกิจกรรมของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน โดยแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมสารประกอบโมเลกุลเล็กเข้าไปในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น อะเซติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ในน้ำสกัดชีวภาพนั้นปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนอาจจะไม่เกิดปฏิกิริยาการสร้างมีเทน เนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพมีค่าความเป็นกรดสูง และในการเก็บตัวอย่างได้มีการคนส่วนผสมในน้ำสกัดชีวภาพก่อนทำให้สภาวะในถังหมักไม่ไร้ออกซิเจน โดยสิ้นเชิงจึงไม่เหมาะสมต่อสภาวะการเกิดมีเทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

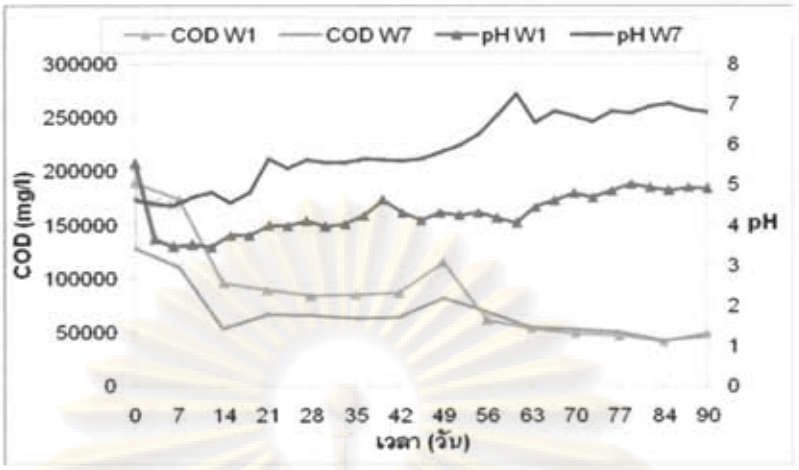
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพ

จากผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน โดยพิจารณาจากค่าซีโอดีและพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น น้ำสกัดชีวภาพจะมีค่าซีโอดีลดลงแต่ค่าพีเอชกลับสูงขึ้น ดังตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ดังนี้

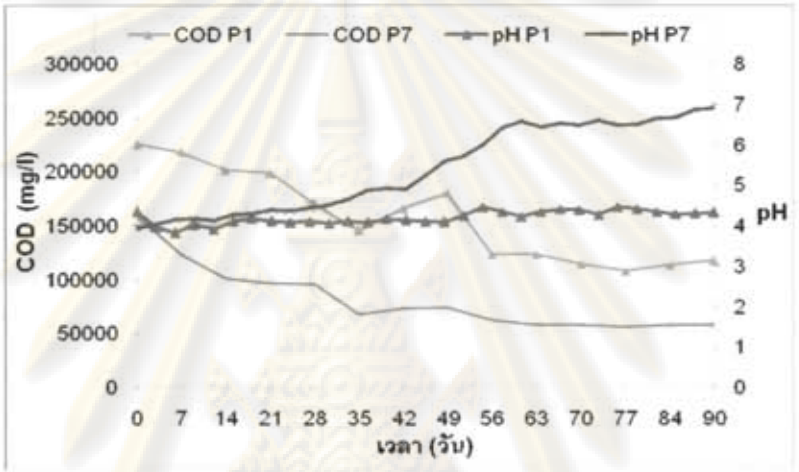
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน ซึ่งจะยกตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุม W1 P1 และ F1 ซึ่งผสมกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว และตัวอย่าง W7 P7 และ F7 ซึ่งเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่ผสมน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวในปริมาณสูงสุด เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมัก พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักค่าซีโอดีจะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับค่าพีเอช เนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจากจุลินทรีย์ที่มีในส่วนผสม (EM) และจุลินทรีย์จากธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้เล็กลงจนสามารถส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ ทำให้ค่าซีโอดีลดลง ในขณะเดียวกันก็ผลิตกรดอินทรีย์ต่างๆ ทำให้ค่าพีเอชลดลง หลังจากนั้นค่าพีเอชจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากกรดอินทรีย์ต่างๆ ถูกใช้ไปโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์และเกิดการระเหยทำให้ระบบปรับเข้าสู่สมดุลที่ค่าพีเอชเป็นกลาง

จากกราฟสังเกตได้ว่าน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุม W1, P1 และ F1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่าง W7, P7 และ F7 เนื่องจากในตัวอย่างควบคุมได้ผสมกากน้ำตาลซึ่งมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าน้ำกากส่าทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเกิดได้สมบูรณ์มากกว่า อีกทั้งยังทำให้ค่าซีโอดีของตัวอย่างควบคุม W1 P1 และ F1 สูงกว่าด้วย ในช่วงหลังจากวันที่ 63 ของการหมัก พบว่าค่าซีโอดีและพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือว่าเกือบคงที่ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และยังแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาการหมักน้ำสกัดชีวภาพที่สมบูรณ์ด้วย

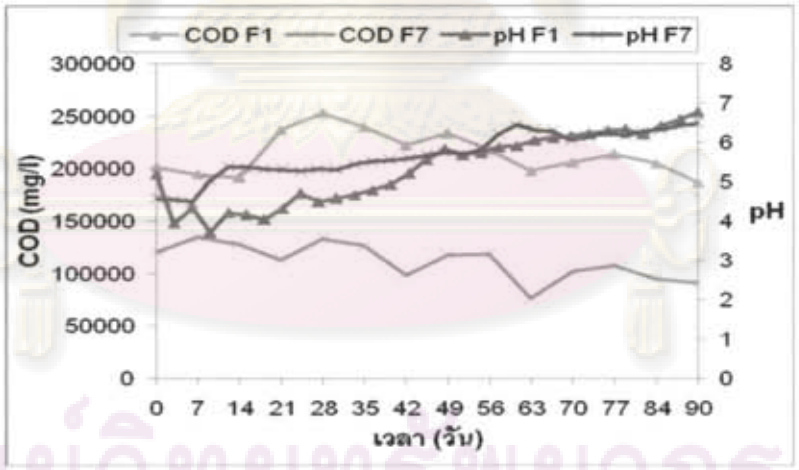
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.7ก)



4.7ข)



4.7ค)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพ

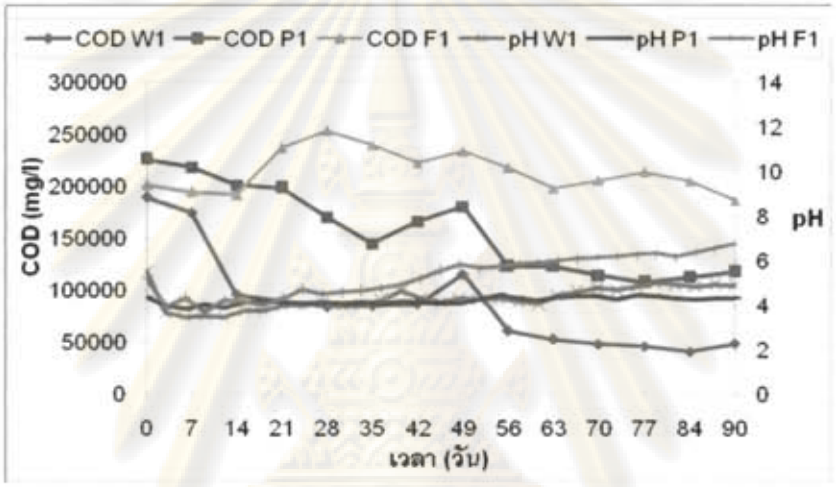
4.7ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1 และ W7)

4.7ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1 และ P7)

4.7ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1 และ F7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (W1) เศษสับปะรด (P1) และเศษปลา (F1) พบว่าค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลามีค่าสูงกว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรดและเศษผักบุ้งจีน ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลามีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่าวัตถุดิบอื่น เนื่องจากในสัตว์มีกรดอินทรีย์ต่ำกว่าพืชและผลไม้ (มลศิริ วิโรทัย และปาริฉัตร หงสประภาส, 2551; สุริยา สาสนรักกิจ, 2551)



รูปที่ 4.8 ค่าซีโอดีและพีเอชตามระยะเวลาการหมักของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (W1) เศษสับปะรด (P1) และเศษปลา (F1)

4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในน้ำสกัดชีวภาพ

เมื่อวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 ของเวลาการหมัก ตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพจะถูกเก็บเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าธาตุอาหารหลักที่มีในน้ำสกัดชีวภาพ ได้แก่ ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P_2O_5) และโพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) (ภาคผนวก ง) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

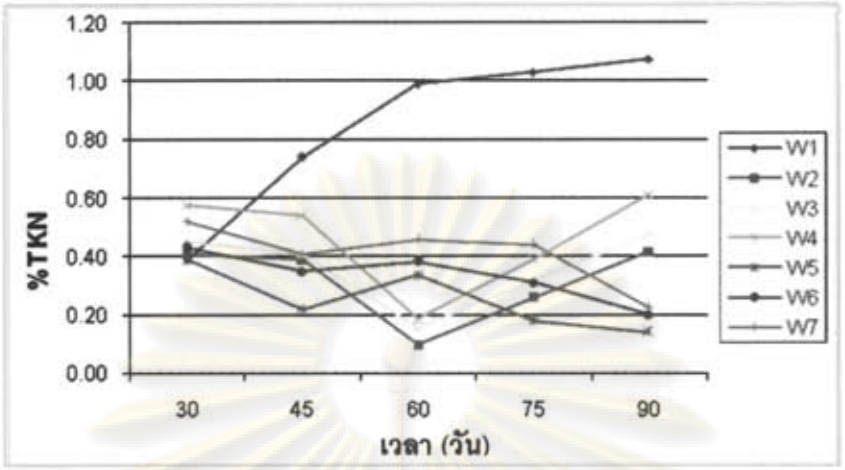
ตามมาตรฐานปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืชและสัตว์ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ของน้ำสกัดชีวภาพแสดงในรูปที่ 4.9 โดยปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา แสดงในรูปที่ 4.9ก, 4.9ข และ 4.9ค ตามลำดับ ตัวอย่างควบคุม W1, P1 และ F1 ของน้ำสกัดชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพอื่นๆ ในวันที่ 45-90 ของเวลาการหมัก และปริมาณไนโตรเจนสูงสุดของตัวอย่างควบคุม F1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 1.49 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวันที่ 90 รองลงมาคือ W1 เท่ากับ 1.07 เมื่อวันที่ 90 และ P1 เท่ากับ 0.46 เมื่อวันที่ 60 ของการหมักตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนแสดงในรูปที่ 4.9ก พบว่าตัวอย่างควบคุม W1 มีแนวโน้มปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้นเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่อวันที่ 90 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการหมัก กลุ่มตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสม W2-W4 มีค่าไนโตรเจนลดลงจากวันที่ 30-60 หลังจากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนอีกกลุ่มคือตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียว W5-W7 ซึ่งมีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างคงที่ในช่วงวันที่ 30-75 และลดลงในวันที่ 90

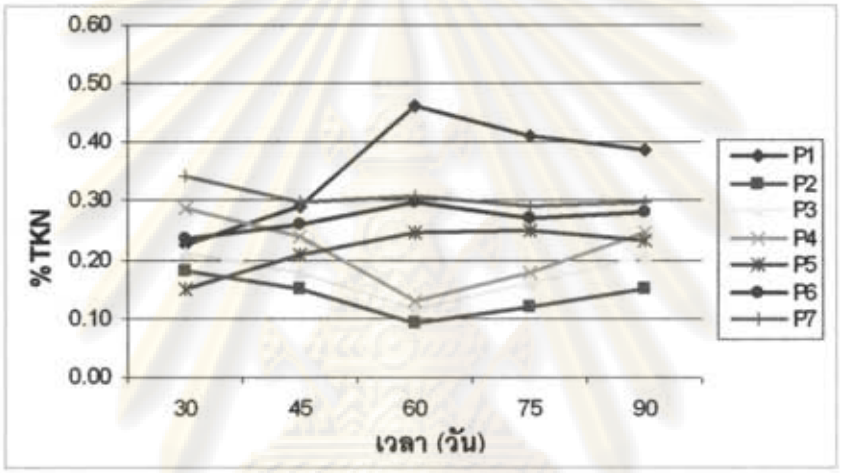
จากรูปที่ 4.9ข แสดงปริมาณไนโตรเจนที่มีในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด พบว่าตัวอย่างควบคุม P1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันที่ 30-60 จากนั้นจึงมีค่าลดลง กลุ่มตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสม P2-P4 มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและเกือบคงที่ในช่วงสุดท้ายของการหมัก และกลุ่มตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียว P5-P7 มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนลดลงในวันที่ 30-60 หลังจากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ปริมาณไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาแสดงในรูปที่ 4.9ค พบว่าปริมาณไนโตรเจนของตัวอย่างควบคุม F1 มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดเวลาการหมักที่ 90 วัน ส่วนตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพอื่นๆ มีค่าสูงขึ้นในช่วงวันที่ 30-60 และลดลงในเวลาต่อมา โดยมีค่าปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อวันที่ 60 ของการหมัก

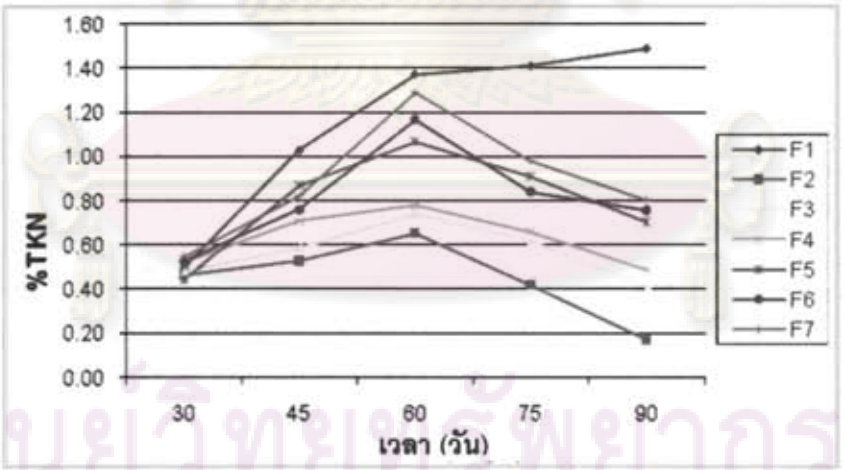
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.9ก)



4.9ข)



4.9ค)

รูปที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

4.9ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)

4.9ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)

4.9ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

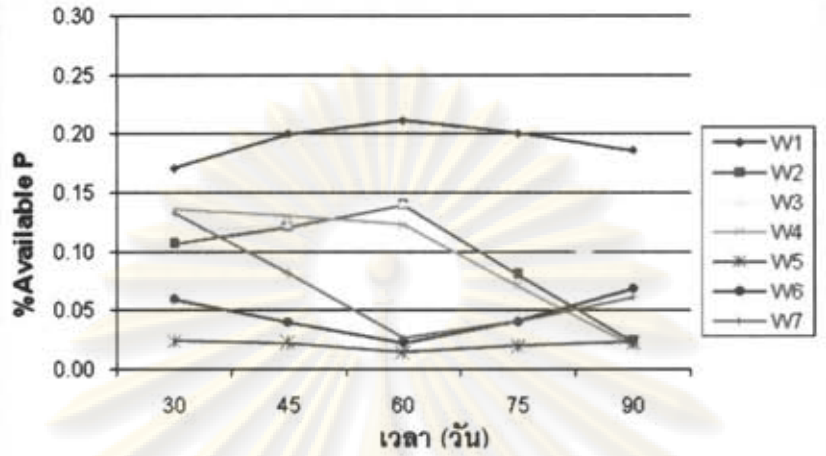
จากรูปแสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำสกัดชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างในกลุ่มตัวอย่างเดียวกันพบว่าเมื่อมีปริมาณน้ำกากส่าในส่วนผสมมากจะมีปริมาณไนโตรเจนมากตามไปด้วย ปริมาณไนโตรเจนในวันที่ 30 ของการหมักของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัตถุดิบเดียวกันจะมีปริมาณไนโตรเจนใกล้เคียงกัน ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน แบคทีเรียจะย่อยสลายเป็นแอมโมเนียซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรท ในสภาวะไร้ออกซิเจนไนเตรทจะถูกทำปฏิกิริยารีดักชั่นกลับไปเป็นไนไตรท์และก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนที่มีในน้ำสกัดชีวภาพจึงไม่คงที่ และเนื่องจากการทดลองได้วิเคราะห์หาเจดาลห์ไนโตรเจนเท่านั้นจึงไม่สามารถหาปริมาณไนไตรท์และก๊าซไนโตรเจนที่มีในน้ำสกัดชีวภาพได้

4.4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

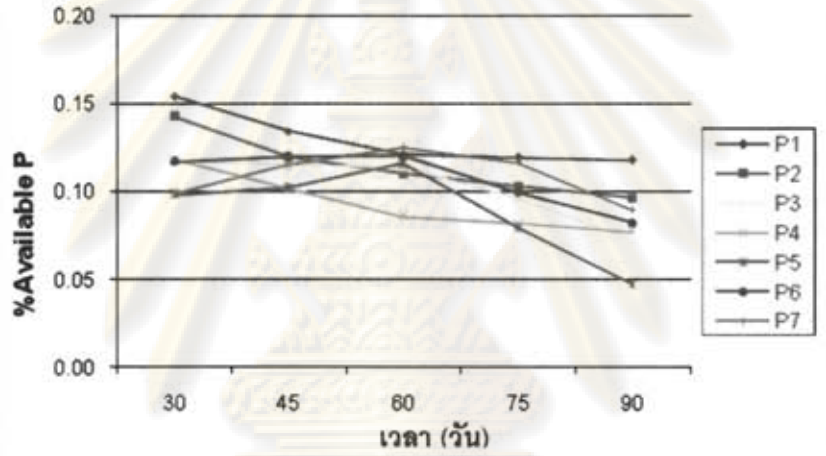
ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นในการเติบโตของแบคทีเรีย ในสภาวะไร้อากาศจะมีอัตราการใช้ COD:N:P เท่ากับ 100:1:0.2 และแบคทีเรียยังแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสหรืออนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้กับพืชให้ละลายออกมาอยู่ในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (วิทยา เหล็กไหล, 2550) การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus, P_2O_5) ของน้ำสกัดชีวภาพแสดงในรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10n แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้ง พบว่าตัวอย่างควบคุม W1 มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดและสูงสุดเท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวันที่ 60 ของการหมัก โดยช่วงวันที่ 30-60 ปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนหลังจากวันที่ 60 มีค่าลดลง แต่ในวันที่ 30 และ 90 มีปริมาณใกล้เคียงกัน กลุ่มตัวอย่างที่มีส่วนผสมของกากน้ำตาลในน้ำสกัดชีวภาพ W2-W4 มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสลดลงจนถึงวันที่ 90 ของการหมัก โดยที่ตัวอย่าง W4 มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดเมื่อวันที่ 30 แต่ตัวอย่าง W2 และ W3 สูงสุดเมื่อวันที่ 60 และกลุ่มตัวอย่างที่มีส่วนผสมเป็นน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว W5-W7 กลับมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงในช่วงวันที่ 30-60 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 60-90

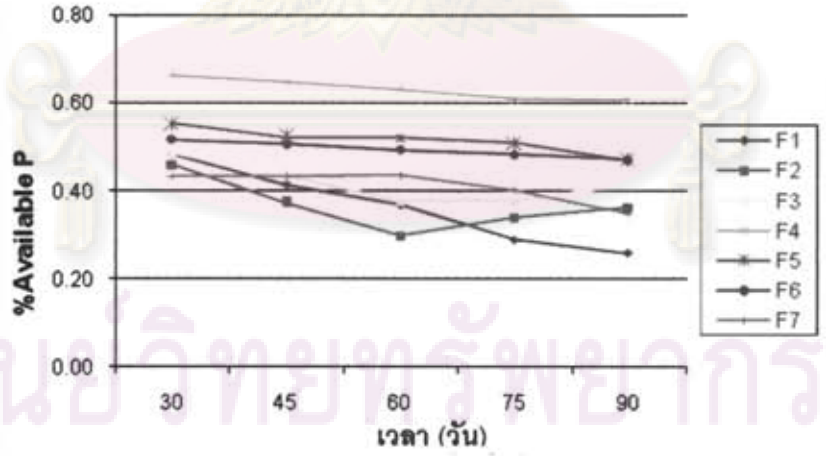
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.10ก)



4.10ข)



4.10ค)

รูปที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

4.10ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)

4.10ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)

4.10ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.10ข แสดงให้เห็นถึงปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด พบว่าวันที่ 30 ของการหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างควบคุม P1 และกลุ่มตัวอย่างที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสม P2-P4 มีค่าสูงสุดและหลังจากนั้นมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ โดยตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 และกลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 30-60 ของการหมัก และหลังจากนั้นมีค่าลดลง

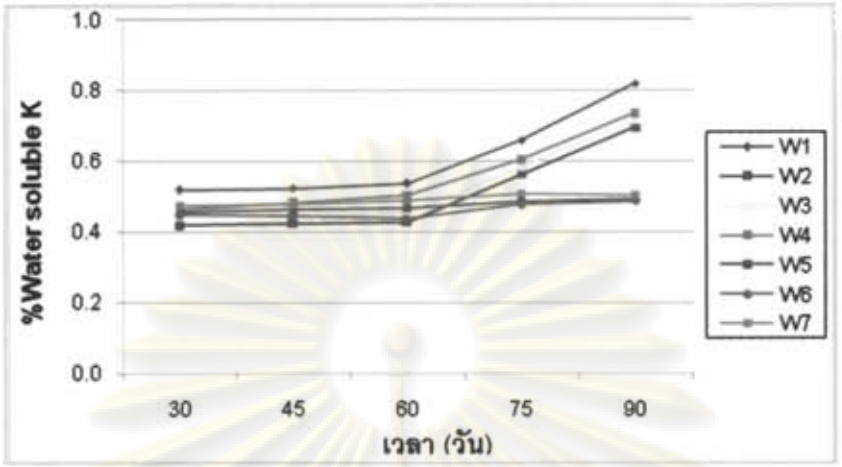
ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาได้แสดงในรูปที่ 4.10ค พบว่าทุกตัวอย่าง F1-F7 มีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง โดยตัวอย่าง F4 มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 0.66 และโดยเฉลี่ยแล้วฟอสฟอรัสในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลามีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน และเศษสับปะรดตามลำดับ

4.4.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

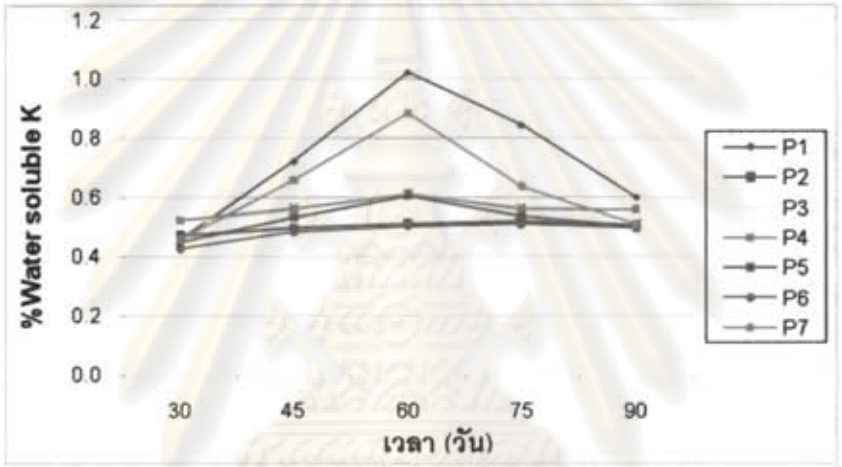
การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม (Water Soluble Potassium, K_2O) ของน้ำสกัดชีวภาพแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งโพแทสเซียมนี้เป็นแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชเช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอีกด้วย

จากรูปที่ 4.11ก แสดงปริมาณโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน พบว่าตัวอย่างควบคุม W1 มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดและสูงสุดเมื่อวันที่ 90 เท่ากับ 0.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวอย่างควบคุมและกลุ่มตัวอย่าง W2-W4 ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมในน้ำสกัดชีวภาพในช่วงวันที่ 30-60 ของการหมักมีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างคงที่ หลังจากวันที่ 60 ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มตัวอย่าง W5-W7 ที่มีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 30-90 ของการหมัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียลดลงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ภายในวัตถุดิบถูกปลดปล่อยออกมาน้อยลง

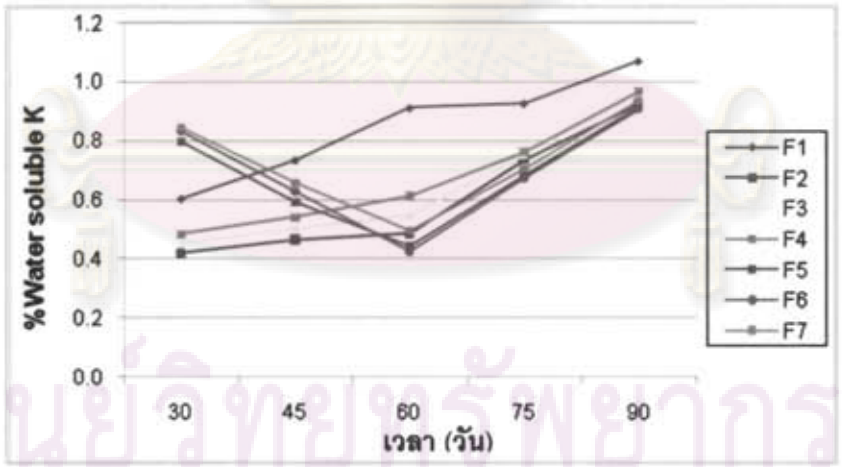
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.11ก)



4.11ข)



4.11ค)

รูปที่ 4.11 ปริมาณโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

4.11ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)

4.11ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)

4.11ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

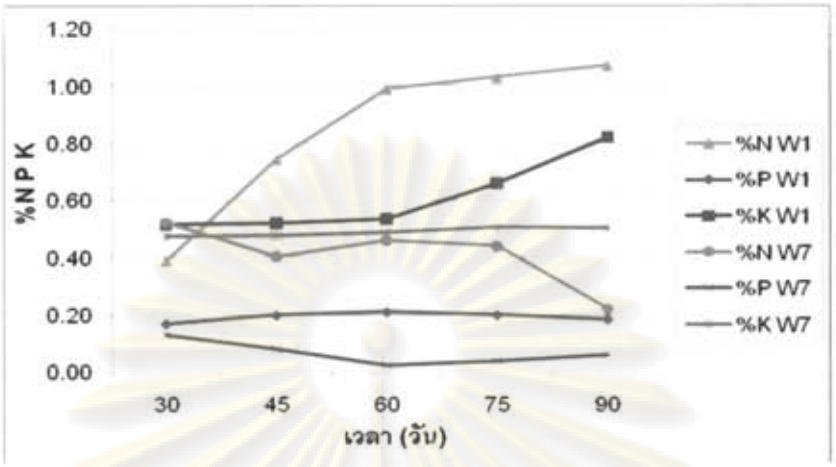
ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรดแสดงในรูปที่ 4.11ข พบว่าตัวอย่างควบคุม P1 มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดและมีค่าสูงสุดเมื่อวันที่ 60 ของการหมักเท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยปริมาณโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 30-60 และลดลงจนถึงวันที่ 90 ของการหมัก ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวอย่าง P7 มากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่าง P3-P5 และตัวอย่าง P2 และ P6 มีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้นตลอดช่วงวันที่ 30-90 ของการหมัก

จากรูปที่ 4.11ค พบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลามีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วงวันที่ 30-90 ของการหมักในตัวอย่างควบคุม F1 และกลุ่มตัวอย่างที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสม F2-F4 ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างควบคุมที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.07 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มตัวอย่าง F5-F7 ซึ่งมีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมนั้นในช่วงวันที่ 30-60 มีค่าลดลงและในช่วงวันที่ 60-90 มีปริมาณโพแทสเซียมสูงขึ้น

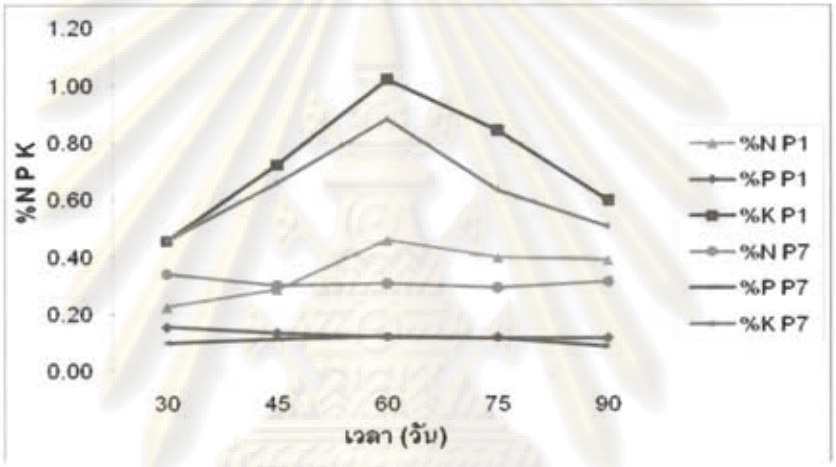
โดยรวมแล้วพบปริมาณโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาสูงที่สุด รองลงมาคือเศษสับปะรด และเศษผักบุ้งจีน ตามลำดับ

4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

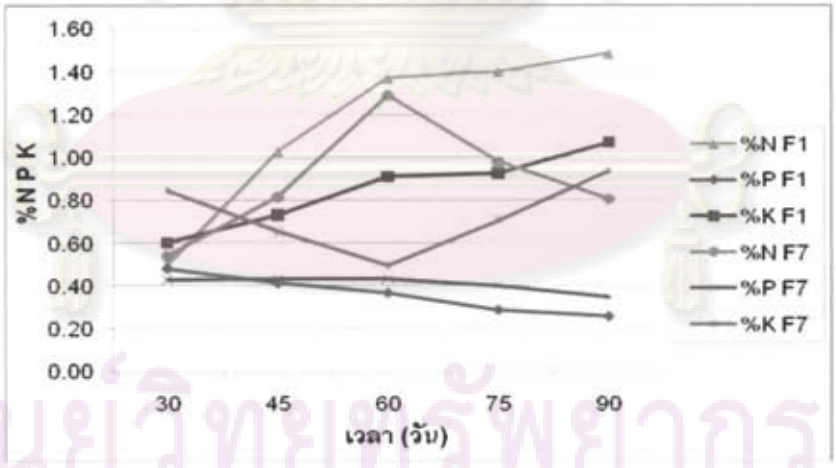
จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมที่ผสมกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว (W1, P1 และ F1) กับตัวอย่างที่ผสมน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียวในปริมาณสูงสุด (W7, P7 และ F7) พบว่าน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมมีปริมาณสูงกว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าตัวอย่างที่ผสมน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว และฟอสฟอรัสที่พบในน้ำสกัดชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยรูปที่ 4.12ก และ 4.12ค แสดงให้เห็นว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนและเศษปลามีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพได้ย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมา แต่อัตราการใช้ฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนมีน้อยมาก (COD:N:P เท่ากับ 100:1:0.2) เมื่อเทียบกับไนโตรเจน ทำให้แนวโน้มปริมาณฟอสฟอรัสของตัวอย่างลดลงน้อยมากเช่นเดียวกัน และรูปที่ 4.12ข จะมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงสุดที่วันที่ 60 ของการหมัก และหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลง



4.12ก)



4.12ข)



4.12ค)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

4.12ก) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1 และ W7)**

4.12ข) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1 และ P7)**

4.12ค) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1 และ F7)**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.13ก)

4.13ข)

4.13ก)

รูปที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพตามระยะเวลาการหมัก

4.13ก) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)**

4.13ข) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)**

4.13ค) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.13 แสดงปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพตามระยะเวลาการหมัก พบว่าโดยรวมแล้วน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาปริมาณธาตุอาหารสูงสุดเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนและเศษสับปะรด และในตัวอย่างควบคุม W1, P1 และ F1 พบปริมาณธาตุอาหารโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ และตัวอย่าง W4, P7 และ F7 จากรูปที่ 4.13ก, 4.13ข และ 4.13ค ตามลำดับ พบปริมาณธาตุอาหารโดยรวมโดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าตัวอย่างอื่นที่ไม่ใช่ตัวอย่างควบคุม ดังนั้นตัวอย่างดังกล่าวน่าจะเป็นน้ำสกัดชีวภาพที่มีอัตราส่วนเหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าแทนกากน้ำตาล

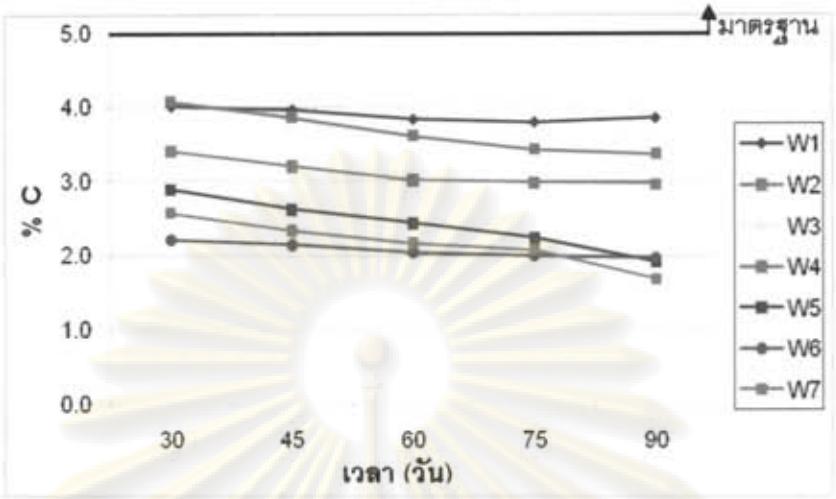
4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ระบุว่าปุ๋ยอินทรีย์ควรมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20/1 หรือ 20 ซึ่งน้ำสกัดชีวภาพในการวิจัยมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ (ภาคผนวก ง)

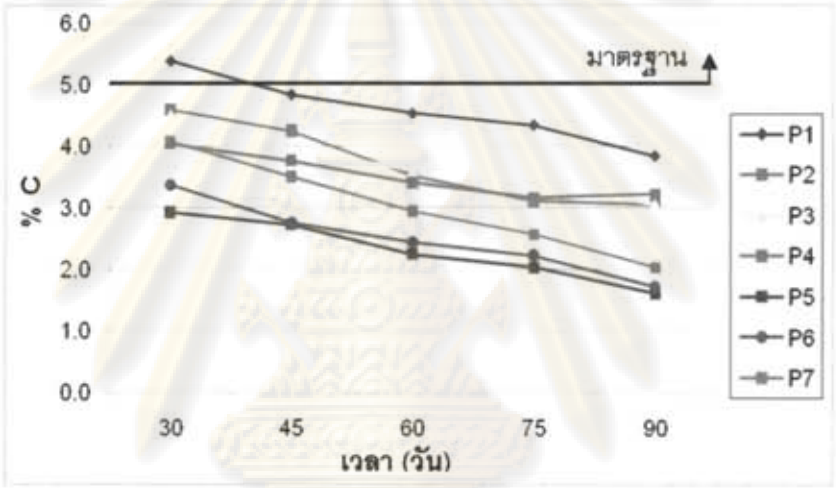
4.5.1 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

จากรูปที่ 4.14ก ถึง 4.14ค แสดงปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา ตามลำดับ จากกราฟพบว่าปริมาณคาร์บอนของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพทุกตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจากวันที่ 30-90 เนื่องมาจากแบคทีเรียในน้ำสกัดชีวภาพใช้คาร์บอนในสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำสกัดชีวภาพมาเป็นแหล่งพลังงาน จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลง

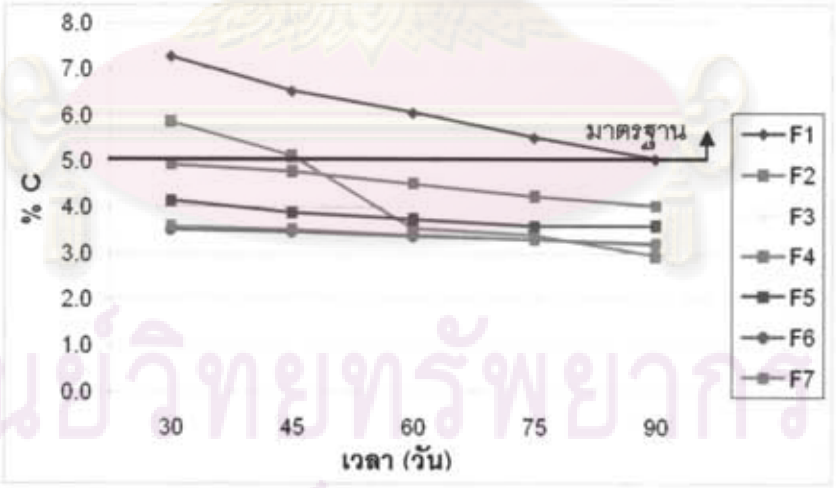
จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่มีในน้ำกากส่าและกากน้ำตาล พบว่าในน้ำกากส่าและกากน้ำตาลมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 5.63 และ 27.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปเป็นเวลา 30 วัน ปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่มีเพียง 1.6-7.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น โดยตัวอย่างควบคุมของน้ำสกัดชีวภาพทุกประเภทมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ รองลงมาคือกลุ่มตัวอย่างที่มีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสม และกลุ่มตัวอย่างที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียว และในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมีปริมาณคาร์บอนมากเมื่อมีน้ำกากส่าในส่วนผสมเป็นปริมาณมาก



4.14ก)



4.14ข)



4.14ค)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

4.14ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)

4.14ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)

4.14ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)

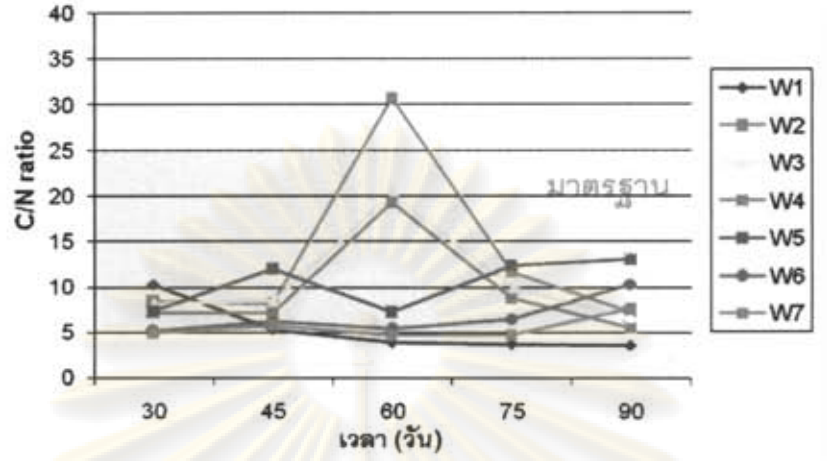
ตามคำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2544 ในเรื่องปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือน้ำสกัดชีวภาพได้แนะนำไว้ว่าปุ๋ยอินทรีย์น้ำควรมีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและเพิ่มประชากร และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน คือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีผลต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน (Yusran, Rate and Abbott, 2008) ซึ่งจากการวิจัยนี้พบตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพที่มีค่าปริมาณคาร์บอนสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ได้แก่ ตัวอย่าง P1 เมื่อวันที่ 30 ตัวอย่าง F1 เมื่อวันที่ 30-90 ของการหมัก และ ตัวอย่าง F2 เมื่อวันที่ 30-45

4.5.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

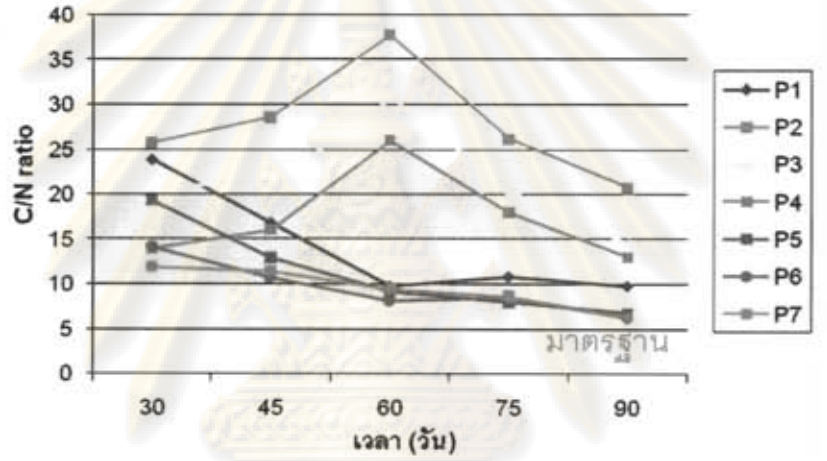
จากรูปที่ 4.15ก แสดงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน พบว่าน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 ซึ่งผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 3-17 ในตัวอย่างควบคุม W1 และกลุ่มตัวอย่าง W2-W4 ที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนผสมมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงตลอดช่วงวันที่ 30-90 ส่วนกลุ่มตัวอย่าง W5-W7 ที่มีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมกลับมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น ซึ่งค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรดแสดงในรูปที่ 4.15ข พบว่าตัวอย่าง P2 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตลอดทั้งช่วงวันที่ 30-90 และตัวอย่างควบคุม P1 และตัวอย่าง P2 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20 แต่จะมีค่าลดลงน้อยกว่า 20 เมื่อวันที่ 60 และ 45 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 ทั้งหมด

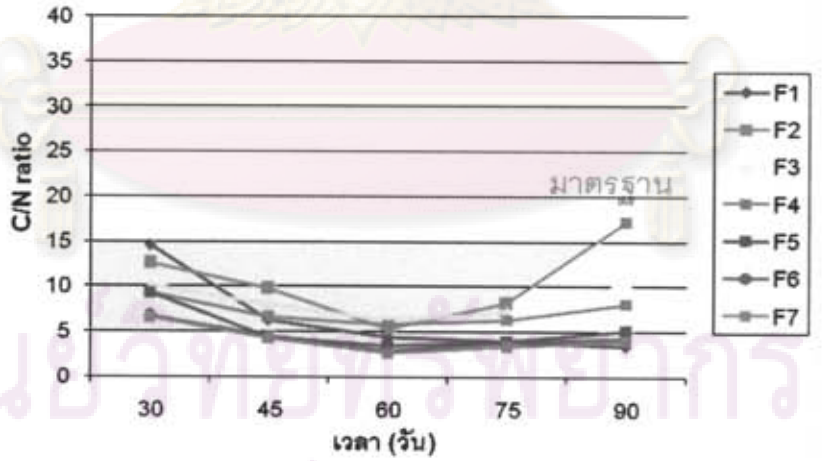
รูปที่ 4.15ค แสดงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา พบว่าตัวอย่าง F2 และ F3 มีแนวโน้มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นโดยวันที่ 60 ของการหมักตัวอย่าง F2 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20.4 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานมาก นอกจากนั้นตัวอย่างอื่นๆ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 ทั้งสิ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 4-20



4.15ก)



4.15ข)



4.15ค)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ

4.15ก) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน** (ตัวอย่าง W1-W7)

4.15ข) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด** (ตัวอย่าง P1-P7)

4.15ค) **น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา** (ตัวอย่าง F1-F7)

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพ

ค่าความนำไฟฟ้าตามคำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2544 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือน้ำสกัดชีวภาพ ต้องมีค่าความนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่แสดงให้ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นของแร่ธาตุสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายรวมอยู่ในของเหลว ถ้ามีค่าความนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณแร่ธาตุละลายอยู่มาก (กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2547; สุนันทา ชมภูนิช, 2546)

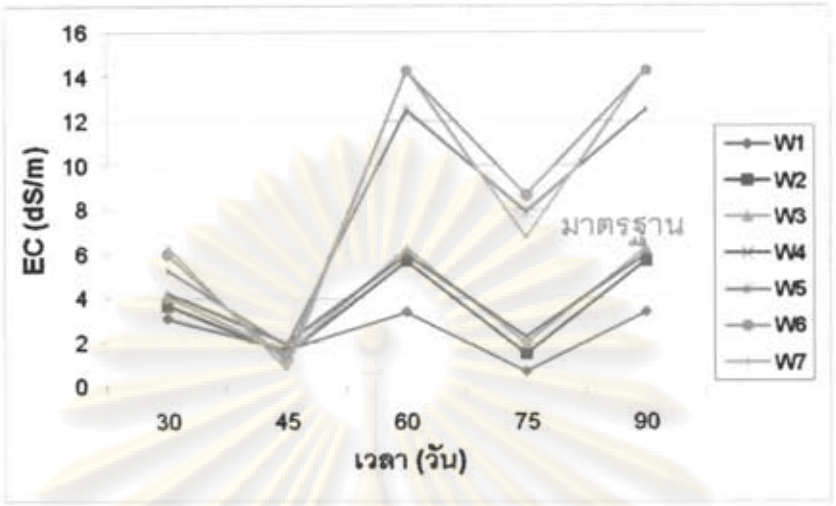
น้ำสกัดชีวภาพจะถูกเก็บตัวอย่างในวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ของการหมัก เพื่อนำมาหาค่าความนำไฟฟ้า โดยรูปที่ 4.16ก ถึง 4.16ค แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา ตามลำดับ (ภาคผนวก ง)

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนแสดงในรูปที่ 4.16ก พบว่าตัวอย่างควบคุม W1 มีค่าความนำไฟฟ้าน้อยที่สุดโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.70-3.40 dS/m กลุ่มตัวอย่าง W2-W4 ซึ่งมีกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมมีค่าความนำไฟฟ้าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.50-6.30 dS/m และกลุ่มตัวอย่าง W5-W7 ซึ่งมีน้ำกากส่าเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมีค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นและกลุ่มตัวอย่างนี้มีค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.80-14.33 dS/m ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานในวันที่ 60 และ 90 ของการหมัก

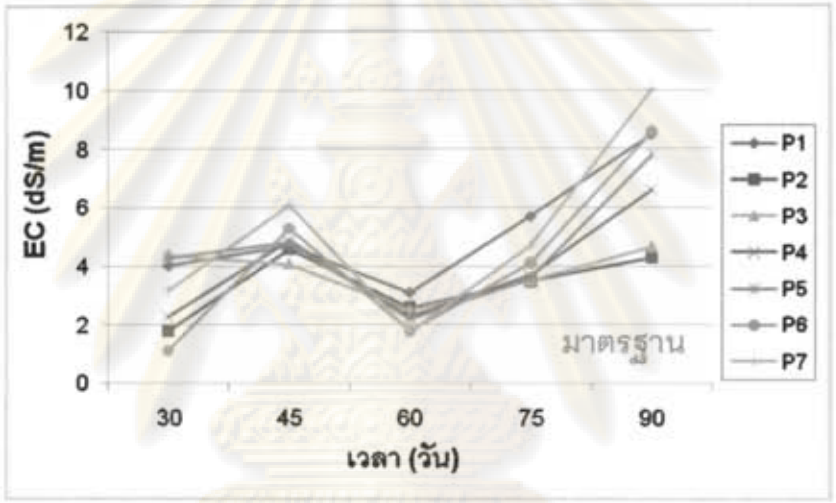
ในรูปที่ 4.16ข แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าความนำไฟฟ้าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 30-45 ของการหมัก แล้วลดลงในช่วงวันที่ 45-60 ของการหมัก จากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนวันที่ 90 ของการหมัก โดยมีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.13-10.03 dS/m ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรดนี้มีค่าไม่เกินช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาแสดงในรูปที่ 4.16ค (ตัวอย่าง F1-F7) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 60 ของการหมักเป็นต้นไป โดยมีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.40-16.20 dS/m ซึ่งจะมีค่าความนำไฟฟ้าเกินมาตรฐานตั้งแต่วันที่ 75 ของการหมัก

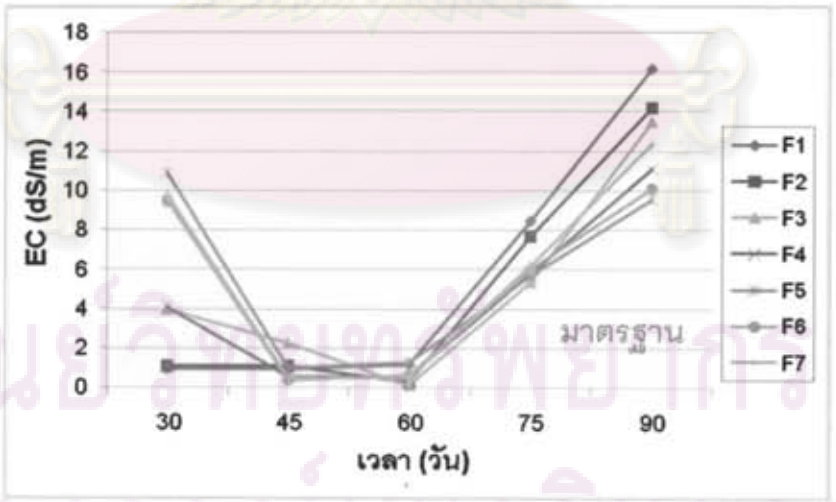
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.16ก)



4.16ข)



4.16ค)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพ

4.16ก) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน (ตัวอย่าง W1-W7)

4.16ข) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด (ตัวอย่าง P1-P7)

4.16ค) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา (ตัวอย่าง F1-F7)

4.7 ผลการวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพ

ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ได้กำหนดไว้ว่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์ควรมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (โดยการทดสอบด้วยวิธีดัชนีการงอกของเมล็ดพืช) ซึ่งตารางที่ 4.4 (ภาคผนวก ง) ได้แสดงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยซึ่งทำการวิเคราะห์ตัวอย่างในวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 ของการหมัก พบว่าทุกตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพมีผลการย่อยสลายที่สมบูรณ์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าน้อยที่สุด 82.6 เปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่าง W2 เมื่อวันที่ 30 ของการหมัก และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพ

เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
30	97.8	82.6	91.8	94.1	100.0	100.0	84.7
45	98.1	83.2	92.3	95.3	100.0	100.0	85.8
60	98.9	84.7	93.9	95.8	100.0	100.0	87.2
75	99.7	84.9	94.2	96.4	100.0	100.0	88.6
90	100.0	85.2	96.1	97.6	100.0	100.0	89.4

เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
30	100.0	83.7	100.0	100.0	98.5	100.0	100.0
45	100.0	84.6	100.0	100.0	99.4	100.0	100.0
60	100.0	85.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
75	100.0	86.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
90	100.0	88.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
30	100.0	82.8	85.8	100.0	100.0	100.0	100.0
45	100.0	84.5	87.4	100.0	100.0	100.0	100.0
60	100.0	85.9	89.7	100.0	100.0	100.0	100.0
75	100.0	88.1	92.5	100.0	100.0	100.0	100.0
90	100.0	89.8	95.1	100.0	100.0	100.0	100.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืชวิเคราะห์โดยใช้การย่อยสลายที่สมบูรณ์ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จริง ดังตารางที่ 4.5-4.7 (ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.5 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่าง ๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีนไปใช้กับพืช

เจือจาง	เวลา (วัน)	การย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่วัดได้จริง (%)						
		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
1:100	30	119.0	125.3	117.7	107.7	106.7	102.3	100.6
	45	121.4	126.1	118.4	108.2	107.3	103.5	101.6
	60	122.1	126.7	119.1	108.9	107.9	104.4	102.2
	75	123.5	127.2	119.9	109.4	108.2	105.0	102.9
	90	123.8	127.8	120.3	110.0	109.4	106.6	103.4
1:250	30	282.9	291.0	279.8	255.7	270.6	253.8	268.9
	45	283.6	291.7	280.3	256.2	271.2	254.1	269.1
	60	284.3	292.4	281.1	256.9	271.8	255.7	270.6
	75	285.0	293.3	281.8	257.4	272.0	256.2	271.4
	90	285.7	293.9	282.2	258.0	272.5	256.8	272.5
1:500	30	148.3	176.5	165.6	162.6	142.3	136.6	132.4
	45	149.0	177.6	166.4	163.6	143.6	137.6	132.8
	60	149.8	178.2	167.1	164.3	144.9	138.4	133.1
	75	150.4	178.8	167.9	164.9	145.6	139.5	134.4
	90	151.1	179.3	168.1	165.5	146.4	139.9	135.7
1:750	30	129.8	137.9	152.8	148.5	133.7	142.1	134.5
	45	130.5	138.4	153.4	149.0	134.5	142.8	135.0
	60	130.9	138.7	154.0	149.6	135.4	143.4	135.6
	75	131.3	139.4	155.1	150.3	136.3	144.6	136.2
	90	132.0	139.9	155.7	151.5	136.9	145.3	136.8
1:1000	30	114.3	103.7	109.6	116.3	111.0	101.2	101.7
	45	115.6	104.3	110.0	117.4	111.7	102.1	102.0
	60	116.2	104.9	110.6	118.3	112.2	102.9	102.5
	75	116.9	105.3	111.2	119.5	112.8	103.1	103.6
	90	117.4	105.8	111.9	120.0	113.3	104.4	104.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรดไปใช้กับพืช

เจือจาง	เวลา (วัน)	การย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่วัดได้จริง (%)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1:100	30	227.4	224.7	201.3	192.6	204.9	170.3	195.4
	45	228.1	225.2	202.0	193.5	205.5	171.0	196.1
	60	228.9	226.0	202.7	194.1	206.2	171.6	196.8
	75	229.3	226.8	203.5	194.8	206.7	172.5	197.5
	90	230.0	227.3	204.2	195.4	207.3	173.2	198.3
1:250	30	319.1	318.1	310.8	315.8	326.3	324.2	315.9
	45	319.9	318.7	311.5	316.6	327.1	325.3	316.2
	60	320.5	319.4	312.2	317.1	327.9	326.0	316.7
	75	321.3	320.2	313.0	317.8	328.3	326.7	317.0
	90	321.8	320.9	313.7	318.5	329.0	327.5	317.8
1:500	30	177.6	185.0	168.5	174.9	177.5	170.5	178.2
	45	178.2	185.5	168.9	175.3	178.1	171.2	178.8
	60	178.9	186.6	169.4	175.8	178.8	171.7	179.3
	75	179.4	187.3	169.8	176.2	179.4	172.5	179.9
	90	180.0	189.2	170.1	176.9	179.8	173.2	180.4
1:750	30	166.8	143.8	160.5	144.7	134.4	115.8	112.8
	45	167.2	144.5	161.3	145.1	134.9	116.3	113.5
	60	167.8	146.0	161.8	145.6	135.5	116.9	114.0
	75	168.4	146.6	162.4	146.2	136.0	117.2	114.6
	90	168.9	147.1	162.9	146.7	136.5	117.7	115.2
1:1000	30	86.7	81.5	94.6	85.5	98.6	77.4	83.0
	45	87.1	82.0	95.3	86.1	99.0	78.5	83.7
	60	87.8	82.6	95.9	86.7	99.4	79.1	84.4
	75	88.3	83.1	96.4	87.3	100.2	79.8	84.9
	90	88.9	83.7	97.0	87.9	100.8	80.3	85.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลาไปใช้กับพืช

เจือจาง	เวลา (วัน)	การย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่วัดได้จริง (%)						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
1:100	30	119.0	125.3	117.7	107.7	106.7	102.3	100.6
	45	119.6	125.9	118.5	108.4	107.4	102.8	101.5
	60	120.3	126.6	119.1	108.8	107.9	103.3	102.4
	75	120.8	127.1	119.8	109.6	108.5	103.9	102.7
	90	121.5	127.7	120.4	110.2	109.3	104.5	103.3
1:250	30	282.9	291.0	279.8	255.7	270.6	253.8	268.9
	45	283.4	291.6	280.5	256.4	271.7	254.5	269.4
	60	283.8	292.2	281.1	257.0	272.4	255.3	270.5
	75	284.2	292.7	281.9	257.6	273.1	255.9	271.3
	90	284.4	293.3	282.3	258.5	273.6	256.2	271.8
1:500	30	148.3	176.5	165.6	162.6	142.3	136.6	132.4
	45	148.7	177.1	166.3	163.4	142.8	137.5	133.0
	60	149.4	177.8	166.9	164.5	143.4	137.9	133.6
	75	149.9	178.5	170.5	165.1	144.0	138.4	134.3
	90	150.3	179.0	171.2	165.8	144.6	139.0	134.8
1:750	30	129.8	137.9	152.8	148.5	133.7	142.1	134.5
	45	130.5	138.5	153.3	149.2	134.5	142.7	135.3
	60	131.1	139.1	153.9	149.8	135.2	143.5	136.0
	75	131.7	139.8	154.4	150.6	135.8	144.0	136.7
	90	132.3	140.4	155.2	151.3	136.3	144.6	137.3
1:1000	30	114.3	103.7	109.6	116.3	111.0	101.2	101.7
	45	114.9	104.3	110.2	116.9	111.7	101.8	102.5
	60	115.5	104.9	110.8	117.5	112.4	102.5	103.1
	75	116.1	105.6	111.3	118.2	113.1	103.4	103.8
	90	116.8	106.2	111.7	119.0	113.9	104.5	104.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.5-4.7 แสดงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา ไปใช้กับพืช ตามลำดับ ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำการทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนเจือจางน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาดที่เหมาะสมในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช โดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่สูงสุด เพื่อเป็นการแสดงความแตกต่างและง่ายต่อการเปรียบเทียบ ผลการวิจัยในตารางที่ 4.5-4.7 จึงแสดงค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่วัดได้จริง โดยมีอัตราส่วนเจือจางของน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาดที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1:100, 1:250, 1:500, 1:750 และ 1:1000 และทำการทดสอบในวันที่ 30, 45, 60,75 และ 90 วัน ของเวลาการหมัก

เมื่อทำการเปรียบเทียบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของอัตราส่วนต่างๆ ในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช พบว่าโดยทั่วไปแล้วน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผสมกากน้ำตาลและน้ำกากส่า มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกัน และมากกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้กับพืช ของน้ำสกัดชีวภาพทุกประเภทพบว่าอัตราส่วนเจือจางน้ำสกัดชีวภาพต่อน้ำสะอาดเท่ากับ 1:250 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ที่วัดได้จริงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายที่สมบูรณ์กับเวลาการหมัก พบว่าเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจะมีค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นด้วยแต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายที่สมบูรณ์กับอัตราส่วนเจือจางพบว่าอัตราส่วน 1:100 มีค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์น้อยกว่าอัตราส่วน 1:250 และอัตราส่วนที่เหลือคือ 1:500, 1:750 และ 1:1000 มีค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์ลดลงตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพ

ในการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำน้ำสกัดชีวภาพนั้นจะพิจารณาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่สมบูรณ์และคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2544 และตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 จากผลการวิเคราะห์ได้อัตราส่วนของน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมดังนี้

1) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากการวิจัย คือ เศษผักบุ้งจีน 3 กิโลกรัม : กากน้ำตาล 0.5 กิโลกรัม : น้ำกากส่า 2.5 กิโลกรัม : น้ำ 1 ลิตร : จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ 150 มิลลิลิตร ที่เวลาการหมัก 30 วัน

2) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากการวิจัย คือ เศษสับปะรด 3 กิโลกรัม: น้ำกากส่า 2.5 กิโลกรัม : น้ำ 1 ลิตร : จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ 150 มิลลิลิตร ที่เวลาการหมัก 30 วัน

3) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากการวิจัย คือ เศษปลา 3 กิโลกรัม: น้ำกากส่า 4.5 กิโลกรัม : น้ำ 1.5 ลิตร : จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ 200 มิลลิลิตร ที่เวลาการหมัก 60 วัน

5.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพ

คุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2544 ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการเปรียบเทียบคือ ค่าพีเอชไม่เกิน 4.5 ค่าความนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 dS/m ปริมาณไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืชและสัตว์ไม่เกิน 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนไม่ต่ำกว่า 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกิน 20 และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ต้องมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 และมีรายละเอียดดังนี้

1) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน พบธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ผ่านมาตรฐานตั้งแต่วันที่ 30 ของการหมัก ค่าพีเอช ผ่านมาตรฐานในช่วงวันที่ 0-30 ของการหมัก ค่าความนำไฟฟ้า ผ่านมาตรฐานในช่วงวันที่ 30-45 ของการหมัก ส่วนปริมาณคาร์บอนไม่ผ่านมาตรฐานตลอดเวลาการหมัก

2) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษสับปะรด พบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ค่าความนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยค่าเหล่านี้ผ่านมาตรฐานตั้งแต่วันที่ 30 ของการหมัก ค่าพีเอช ผ่านมาตรฐานในช่วงวันที่ 0-30 ของการหมัก ส่วนปริมาณคาร์บอน ผ่านมาตรฐานเฉพาะน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลพียงอย่างเดียวในวันที่ 30 ของการหมัก

3) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษปลา พบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยค่าเหล่านี้ผ่านมาตรฐานตั้งแต่วันที่ 30 ของการหมัก ค่าพีเอช ผ่านมาตรฐานในช่วงวันที่ 0-6 ของการหมัก ค่าความนำไฟฟ้า ผ่านมาตรฐานในช่วงวันที่ 30-75 ของการหมัก ส่วนปริมาณคาร์บอน ผ่านมาตรฐานเฉพาะน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลพียงอย่างเดียวตลอดเวลาการหมัก

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพแล้วพบว่าชุดทดลองที่เตรียมจากกากน้ำตาลมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สูงที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่เตรียมจากกากน้ำตาลผสมกับน้ำกากส่า และชุดทดลองที่เตรียมจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ และจากตารางที่ 5.2 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อที่ 5.1.1 และแสดงถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ผ่านและไม่ผ่านมาตรฐาน และเนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพมีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำจนอาจเป็นอันตรายกับพืชได้จึงควรเจือจางในอัตราส่วน 1:250 ก่อนนำไปใช้กับพืช

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพจากการวิจัย

น้ำสกัดชีวภาพ	มาตรฐาน	เศษผักบุ้งจีน	เศษสับปะรด	เศษปลา
pH	≤ 4.5	3.45-7.62	3.83-7.01	3.71-6.77
EC (dS/m)	≤ 10	0.70-14.33	1.13-10.03	0.13-16.20
N (%)	≤ 2 (พืช) ≤ 3 (สัตว์)	0.10-1.07	0.09-0.46	0.17-1.48
P (%)	-	0.01-0.21	0.05-0.15	0.26-0.66
K (%)	-	0.42-0.82	0.43-1.02	0.42-1.07
C (%)	≥ 5	1.68-4.07	1.61-5.39	2.93-7.28
C/N ratio	≤ 20	3.59-30.78	6.26-37.84	2.64-17.21
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (%)	> 80	≥ 82.6	≥ 83.7	≥ 82.8

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม

น้ำสกัดชีวภาพ	มาตรฐาน	เศษผักบุ้ง (วันที่ 30)		เศษสับปะรด (วันที่ 30)		เศษปลา (วันที่ 60)	
pH	≤ 4.5	4.35	/	4.51	/	6.45	×
EC (dS/m)	≤ 10	4.30	/	3.20	/	0.50	/
N (%)	≤ 2 (พืช) ≤ 3 (สัตว์)	0.57	/	0.34	/	1.29	/
P (%)	-	0.13	-	0.10	-	0.44	-
K (%)	-	0.47	-	0.46	-	0.50	-
C (%)	≥ 5	4.07	×	4.08	×	3.40	×
C/N ratio	≤ 20	7.16	/	11.99	/	2.64	/
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (%)	> 80	94.1	/	100.0	/	100.0	/

หมายเหตุ : / หมายถึง ผ่านมาตรฐาน

× หมายถึง ไม่ผ่านมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของน้ำสกัดชีวภาพ

การย่อยสลายของน้ำสกัดชีวภาพเป็นแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism, EM) จากส่วนผสมทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจนค่าซีโอดีเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือค่อนข้างคงที่ซึ่งบ่งบอกถึงระยะเวลาที่เหมาะสมของการหมักน้ำสกัดชีวภาพ โดยน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา มีค่าซีโอดีค่อนข้างคงที่ที่เวลาการหมัก 14, 56 และ 63 วัน ตามลำดับ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายได้ถูกย่อยไปจนหมดแล้ว เหลือเพียงเศษวัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้า โดยเศษวัตถุดิบเหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นสิ่งบำรุงดินได้อีกด้วย แต่ระยะเวลาการหมักน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมจากการวิจัยได้พิจารณาร่วมกับคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำสกัดชีวภาพด้วย ทำให้ระยะเวลาการหมักน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมและเวลาที่ค่าซีโอดีคงที่แตกต่างกัน และค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักบุ้งจีน เศษสับปะรด และเศษปลา ตลอดเวลาการหมักลดลงประมาณ 62, 75 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิธีการนำน้ำกากส่าไปใช้ทำน้ำสกัดชีวภาพคือนำไปใช้ผสมกับวัตถุดิบต่างๆ เช่นเดียวกับการใช้กากน้ำตาล เพียงแต่ใช้น้ำกากส่าในปริมาณที่มากกว่ากากน้ำตาลตามอัตราส่วนที่แนะนำ และจากอัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำสกัดชีวภาพที่ได้กล่าวไปแล้วสามารถสรุปได้ว่าสามารถนำน้ำกากส่ามาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนแทนกากน้ำตาลในการทำน้ำสกัดชีวภาพได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 พัฒนาองค์ประกอบในน้ำสกัดชีวภาพที่เป็นประโยชน์กับพืชให้มากขึ้น โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งคาร์บอนและสารอินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เช่น หอยเชอรี่ เป็นต้น

5.2.2 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการหมักน้ำสกัดชีวภาพเพื่อลดระยะเวลาในการหมัก เช่น การเพิ่มอุณหภูมิการหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาที่ดิน. การใช้จุลินทรีย์เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากขยะสด. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547.

กรมวิชาการเกษตร. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 122 ตอนพิเศษ 109ง. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา, 30 กันยายน 2548 : 9–10.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดการมูลฝอยชุมชน. ส่วนประยุกต์เทคโนโลยีที่เหมาะสม สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548.

กรมสรรพสามิต กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรากรมสรรพสามิต:ตอนที่ 2 สรุปผลการศึกษาทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2526.

กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ น้ำหมักชีวภาพ (ตอนที่ 1). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ควิกปริ๊นซ์ออฟเซ็ท, 2547.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และวัลลีย์ อมรพล. มันสำปะหลังทำให้ดินเสื่อมโทรมจริงหรือ. กสิกร 79, 1 (มกราคม – กุมภาพันธ์ 2549). กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549.

จักรินทร์ เพ็ชรงาม, กรศักดิ์ รัตตมณี และมณีรัตน์ ติรนันทกุล. การบำบัดน้ำกากส่าแบบชีวเคมีของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์. วารสารวิจัยและฝึกอบรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 3 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2547) : 51–59.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง: การกำจัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2528.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ:เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2542.

ธเรศ ศรีสถิตย์ และสุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม. โครงการสำรวจการปนเปื้อนของกากส่าในดินบริเวณรอบๆ ที่เก็บกักกากส่าของโรงงานสุราในเขตภาคกลาง 3 จังหวัด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, กองทุนสุรา, 2548.

บุญมี กองสมบัติ, พิสิษฐ์ อิ่มเอิบ และวิเชียร อุ่นเรือน. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราอยุธยาในการปลูกข้าวโพดและถั่วเขียว. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา, 2537.

พงษ์ พฤกษา. ปุ๋ยและน้ำสกัดชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี : สำนักพิมพ์นีออนบุ๊คมีเดีย, 2548.

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. สารพิษและผลกระทบ. กระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 2550.

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล. รายงานการวิจัย เรื่องการหาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์จากเศษผักและเศษใบไม้แห้งของจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพายัพ, 2548.

มลศิริ วิโรทัย และปาริฉัตร หงสประภาส. องค์ประกอบของผักและผลไม้. http://www.swu.ac.th/royal/book5/b5c2t3.html. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2551.

มั่นสิน ตัลยุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มั่นสิน ตัลพุลเวศม์. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

มาลี วิศวาจารย์. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

มุกดา สุขสวัสดิ์. ปุ๋ยอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : บ้านและสวน, 2545.

เลอวิทย์ ศรีบุญเรือง, ชนิกานต์ วิรัชติ และสมพร เจนคุณาวัฒน์. การบำบัดน้ำเสียจากถังหมักก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าด้วยวิธีชีวเคมี. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2548.

วิทยา เหล็กไหล. การเพาะเห็ดนางรมบนก้อนเชื้อขี้เลื่อยที่ถูกย่อยสลายโดยการหมัก. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 2, 1 (สิงหาคม 2546) : 33-40.

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. โครงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเสียชีวมวล:กรณีศึกษาปุ๋ยหมักและน้ำสกัดชีวภาพ. รายงานฉบับสมบูรณ์, ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550.

ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร. http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=174. ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2549.

สังคม เตชะเสถียร. หลักการผลิตพืช. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ควิกปริ๊นออฟเซ็ท, 2548.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. การกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้วิธีเทคโนโลยีที่เหมาะสม. วิศวกรรมสาร 38 (กุมภาพันธ์ 2528) : 93 – 98.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุนันทา ชมภูนิช. ฮอร์โมนพืชและธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร, 2546.

สุริยา สาสนรักกิจ. ปุ๋ยน้ำชีวภาพ. http://www.organicthailand.com/article?id=959&lang=th. ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2551.

อานัฐ ตันโช. ระบบการปลูกพืชไร้ดิน. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2551.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Bio-Logic environmental system, Waste and resource management. Report on assessing compost maturity. A Final Report for the Nova Scotia Department of Environment and Labour October 2001, Canada, 2001.

Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R.B., and Hamdi, M. Review of Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Process Biochemistry 40 (2005) : 989 – 995.

Demirel, B., and Yenigun, O. Changes in microbial ecology in an anaerobic reactor. Bioresource Technology 97 (2006) : 1201 – 1208.

Griffin, T. Compost maturity effects on nitrogen and carbon mineralization and plant growth. Compost Science and Utilization 15 (2005) : 228 - 236.

Hartz, T.K. Assessing compost maturity and suitability for agriculture uses. University of California Workshop on Compost Use for Pest Management in Agriculture, 1997.

Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadyay, K.K., and Misra, A.K. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. Soil & Tillage Research, 2006.

Haug, R.T. The Practical Handbook of Compost Engineering. New York : Lewis, 2005.

Jimenez, A.M., Borja, R., and Martin, A. A comparative kinetic evaluation of the anaerobic digestion of untreated molasses and molasses previously fermented with *Penicillium decumbers* in batch reactors. Biochemical Engineering Journal 18 (2004) : 121 – 132.

Karki, A.B., and Dixit, K. Biogas Fieldbook. Sahayogi Press, Kathmandu, Nepal, 1984.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Khaliq, A., Abbasi, M.K., and Hussain, T. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. Bioresource Technology 97 (2006) : 967- 972.

McCarty, P.L. History and overview of anaerobic digestion. Second International Symposium on Anaerobic Digestion, Travelmunde, Germany, 1981.

Panichnumsin, P., Chaiprasert P., Tanticharoen M., and Bhumiratana S. Interaction of organic acids in methane production:Lactic acid degradation. Biotechnology : Impacts&Trends The 12 th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology, 1-3 November 2000, Thailand, 2000.

Pope, L., and Fischer, P. New methods for rapid determination of compost maturity. Acta Hort (ISHS) 450 (1997) : 237-244.

Tapas, N., Sunita, S., and Kaul, S.N. Wastewater management in a cane molasses distillery involving bioresource recovery. Journal of Environmental Management 65 (2002) : 25 – 38.

Yusran, F.H., Rate, A.W., and Abbott, L.K. Transformation of organic matter in Ultisols. http://www.ldd.go.th/new_hp/vichakarn/symposium/05-553.html. Available from April 1, 2008.

Zhang, R.H., El-Mashad, H.M., Hartman, K., Wang, F.Y., Liu, G.G., Choate, C., and Gamble, P. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology, 2006.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (Germination Index)

การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก วัดได้ด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (germination index) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่องปุ๋ยหมัก พ.ศ.2548 ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถวัดสารพิษต่อพืช (phytotoxic substance) ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยหมักได้โดยตรง ได้แก่แก๊สแอมโมเนีย และ กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหมักปุ๋ยที่มีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์หน่วยที่วัดคำนวณค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 เมล็ดพันธุ์ผักที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 75 % เช่น เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ถั่วเขียว ข้าวโพดและผักกาดหัว เป็นต้น

1.2 น้ำกลั่น

1.3 จานเพาะเมล็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 cm

1.4 กระดาษกรองเบอร์ 42 ขนาด 9 cm

1.5 ตัวอย่างปุ๋ยหมัก

2. วิธีดำเนินการ

2.1 สกัดสารละลายปุ๋ยหมัก ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมัก ใส่ในน้ำกลั่น โดยมีสัดส่วนของน้ำหนักปุ๋ยต่อ ปริมาตรน้ำกลั่น 1:10 เขย่าประมาณ 180 ครั้งต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง

2.2 ตีตารางบนกระดาษกรอง จำนวน 10 ช่อง

2.3 วางเมล็ดพันธุ์ผักช่องละ 1 เมล็ด รวม 10 เมล็ด ต่อจานเพาะเมล็ด ทำอย่างน้อย 4 ซ้ำ

2.4 ใส่น้ำสกัดปุ๋ยหมักในจานเพาะเมล็ด จานละ 3 ml

2.5 ใส่น้ำกลั่นในจานเพาะเมล็ดควบคุม จานละ 3 ml

2.6 บ่มจานเพาะเมล็ดในข้อ 2.4 และ 2.5 ในที่มืด อุณหภูมิ 28 °C -30 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.7 เก็บรวบรวมข้อมูล ดังต่อไปนี้

1) ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่อจาน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

2) วัดความยาวของรากแต่ละเมล็ดที่งอกทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 คำนวณหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช โดยใช้สูตร

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (คิดเป็นร้อยละ)} = \frac{\text{\% ความงอกในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก} \times \text{ความยาวรากในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก} \times 100}{\text{\%ความงอกในน้ำกลั่น} \times \text{ความยาวรากในน้ำกลั่น}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับน้ำสกัดชีวภาพ

ภาคผนวก ข-1 คำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2544

1. คำจำกัดความ

1.1 **ปุ๋ยอินทรีย์** หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากการสับ บด หมัก ร่อน หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์และไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

1.1.1 ปุ๋ยหมัก หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด ร่อน โดยผ่านกรรมวิธีหมักอย่างสมบูรณ์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีตาม พ.ร.บ. ปุ๋ย 2518 มาตรา 3

1.1.2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมแร่ธาตุธรรมชาติ หมายความว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของแร่ธรรมชาติ

1.1.3 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หมายความว่า ปุ๋ยน้ำที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นพืช หรือสัตว์ หรือรวมทั้งพืชและสัตว์

1.1.4 ปุ๋ยคอก หมายความว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายจากสัตว์

1.1.5 ปุ๋ยดินดำ หมายความว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายของมนุษย์

1.1.6 หัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีจำนวนเซลล์ต่อหน่วยสูง ซึ่งถูกเพาะเลี้ยงโดยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์สำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์

1.2 **ปุ๋ยชีวภาพ** หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ และทางชีวเคมี และให้หมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์

- ชนิดของจุลินทรีย์ หมายถึง กลุ่มหรือสกุลของจุลินทรีย์เป็นภาษาทางวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์
- หัวเชื้อจุลินทรีย์ หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีจำนวนเซลล์ต่อหน่วยสูง ซึ่งถูกเพาะเลี้ยงโดยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์สำหรับผลิตปุ๋ยชีวภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ผลิต หมายความว่า ทำ เพาะเลี้ยงเชื้อ รวบรวม ผสม แปรสภาพ ปรุงแต่ง เปลี่ยนภาชนะบรรจุ หรือหีบห่อบรรจุซึ่งปุ๋ย

1.3 **ปุ๋ยแร่ธรรมชาติ** หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากการนำแร่ธาตุที่มีในธรรมชาติชนิดเดียวหรือหลายชนิดมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ดหรือผง เพื่อใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มธาตุอาหารพืชแก่ดิน

2. **รายละเอียดข้อกำหนดคุณสมบัติ**

2.1 **ปุ๋ยอินทรีย์**

2.1.1 **ปุ๋ยหมัก** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต้องไม่เกินร้อยละ 20 ต่อ 1

3) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมน/ เมตร (dS/m)

4) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

5) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ

6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ต้องไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

7) ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร ได้หมด

8) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

9) ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่น ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

11) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 **ปุ๋ยอินทรีย์ผสมแร่ธาตุธรรมชาติ** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2) ต้องไม่เจือปนด้วยปุ๋ยเคมีใดๆ

3) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m)

4) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

5) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

6) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

7) ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร ได้หมด

8) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

9) ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่น ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

11) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.1.3 **ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) มีอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2) ต้องไม่เจือปนด้วยปุ๋ยเคมีใดๆ

3) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/ เมตร (dS/m)

4) ปริมาณไนโตรเจนจากผลิตภัณฑ์พืชไม่เกินร้อยละ 2 จากผลิตภัณฑ์สัตว์ไม่เกิน ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

5) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ไม่เกิน 4.5

6) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

7) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 **ปุ๋ยคอก** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ต้องไม่เจือปนด้วยปุ๋ยเคมีใด ๆ

2) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/ เมตร (dS/m)

3) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-1.0-1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4) ปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

5) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ต้องไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

7) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

8) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

9) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.1.5 **ปุ๋ยดินค่ำ** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ต้องไม่เจือปนด้วยปุ๋ยเคมีใดๆ

2) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/ เมตร (dS/m)

3) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และ โพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-1.0-1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4) ปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

5) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ต้องไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

7) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

8) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

9) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6 **หัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก)** ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (aerobe) เป็นประเภทที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส และเป็นเชื้อแบบผสม ประกอบด้วยเชื้อราและแบคทีเรีย

2) ระบุชนิดของเชื้อจุลินทรีย์

3) ระบุจำนวนจุลินทรีย์ เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ ต่อ 1 กรัม ของผลิตภัณฑ์

4) ระบุชนิดของวัสดุรองรับ (Carrier)

5) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

6) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

7) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.1.7 **หัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ดี และเป็นเชื้อแบบผสม ประกอบด้วยเชื้อราและแบคทีเรีย

2) ระบุชนิดของเชื้อจุลินทรีย์

3) ระบุจำนวนจุลินทรีย์ เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่ต่ำกว่า 10^8 เซลล์ ต่อ 1 มิลลิลิตร หรือ 10^8 เซลล์ ต่อ 1 กรัมของผลิตภัณฑ์ (ถ้าเป็นชนิดผง)

4) ระบุชนิดของวัสดุรองรับ (Carrier / ถ้าเป็นชนิดผง)

5) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ถ้าเป็นชนิดผง)

6) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

7) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.2 **ปุ๋ยชีวภาพ**

ปุ๋ยชีวภาพแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ ไรโซเบียม ไมโคไรซ่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และจุลินทรีย์อื่น เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 **สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ประกอบด้วยสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้
2) ระบุชนิดของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยชีวภาพ
3) ระบุจำนวนสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวซึ่งต้องไม่ต่ำกว่า 10^5 เซลล์ ต่อ 1 กรัมของผลิตภัณฑ์
4) ระบุชนิดของวัสดุรองรับ (Carrier)
5) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
6) มีลักษณะเป็นเม็ด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2–6 มิลลิเมตร
7) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
8) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.2.2 **เชื้อไรโซเบียม**

2.2.2.1 *เชื้อไรโซเบียมชนิดผง (วัสดุรองรับไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ)* ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ชื่อเชื้อไรโซเบียมถั่ว
2) ประกอบด้วยเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่ว ในปริมาณไม่น้อยกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม
3) มีวัสดุรองรับที่ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ขึ้นไป
4) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 6.5-7.0
5) มีความชื้นร้อยละ 40–50 โดยน้ำหนัก
6) บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท
7) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
8) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช
9) ควรใช้ไม่น้อยกว่า 200 กรัม ต่อการคลุกเมล็ดถั่วปลูกในพื้นที่ 1 ไร่

2.2.2.2 *เชื้อไรโซเบียมชนิดผง (วัสดุรองรับผ่านการฆ่าเชื้อ)* ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ชื่อเชื้อไรโซเบียมถั่ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ประกอบด้วยเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วในปริมาณไม่น้อยกว่า 10^8 เซลล์ต่อกรัม

3) มีวัสดุรองรับที่ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ขึ้นไป

4) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 6.5-7.0

5) ความชื้นร้อยละ 40–50 โดยน้ำหนัก

6) บรรจุในภาชนะที่ป้องกันความชื้นซึ่งอากาศถ่ายเทเข้าออกได้สะดวก

7) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

8) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

9) ควรใช้ไม่น้อยกว่า 80 กรัม ต่อการใช้คลุกเมล็ดถั่วปลูกในพื้นที่ 1 ไร่

2.2.2.3 *เชื้อไรโซเบียมชนิดน้ำ* ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ชื่อเชื้อไรโซเบียมถั่ว

2) ประกอบด้วยเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วในปริมาณไม่น้อย กว่า 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร อยู่ในวัสดุรองรับชนิดเหลว

3) บรรจุในภาชนะที่ไม่แตกหรือชำรุดเสียหายได้

4) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 6.5-7.0

5) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

6) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

7) ควรใช้ไม่น้อยกว่า 80 ลบ.ซม. เมื่อใช้คลุกเมล็ดปลูกในพื้นที่ 1 ไร่

2.2.3 **เชื้อไมโคไรซ่า** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ชื่อผลิตภัณฑ์ที่มีเชื้อไมโคไรซ่า

2) ระบุชนิดของเชื้อไมโคไรซ่า

3) ปริมาณเชื้อไม่น้อยกว่า 25 สปอร์ ต่อวัสดุรองรับ 1 กรัม

4) ระบุชนิดของวัสดุรองรับ (Carrier)

5) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

6) ในรูปผงให้มีขนาดไม่ต่ำกว่า 60 เมช (mesh) และในรูปเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 2–6 มิลลิเมตร

7) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5–8.5

8) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.2.4 **ปุ๋ยจุลินทรีย์ย่อยละลายฟอสเฟต** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ย่อยละลายฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้

2) ระบุชนิดของจุลินทรีย์ที่ย่อยละลายฟอสเฟต

3) ระบุจำนวนสปอร์ หรือปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตต่อกรัม หรือ ซี.ซี. ของปุ๋ย ไม่น้อยกว่า 10^5 เซลล์

4) ระบุชนิดของวัสดุรองรับ (Carrier)

5) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

6) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

7) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

2.3 **ปุ๋ยแร่ธรรมชาติ** ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) ต้องไม่เจือปนปุ๋ยเคมีใดๆ

2) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3) ระบุส่วนประกอบของแร่ธาตุธรรมชาติที่นำมาผลิต

4) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m)

5) ต้องปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

6) ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. **มาตรฐานฉลากและบรรจุภัณฑ์**

ต้องมีรายละเอียดบนภาชนะบรรจุ ดังนี้

- ชื่อการค้าและเครื่องหมายการค้า
- ชนิดของผลิตภัณฑ์
- ปริมาณบรรจุเป็นน้ำหนักสุทธิ (ในระบบเมตริก)
- ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิต
- ระบุวัสดุที่ใช้ผลิตและอัตราส่วนที่ใช้
- ระบุวันที่ผลิตและวันหมดอายุ (ถ้ามี)
- ระบุวิธีการใช้ การเก็บรักษา และข้อควรระวัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข-2 ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. ๒๕๔๘

ด้วยปัจจุบัน มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ รายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
๑	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน ๑๒.๕x๑๒.๕ มิลลิเมตร
๒	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน ๓๕ เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
๓	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า ๕ มิลลิเมตร ไม่เกิน ๕ เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
๔	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
๕	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า ๓๐ เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
๖	ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH)	๕.๕-๘.๕
๗	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน ๒๐ : ๑
๘	ค่าการนำไฟฟ้า(EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน ๖ เดซิซีเมน/เมตร
๙	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	-ไนโตรเจน (total N)ไม่น้อยกว่า ๑.๐ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก -ฟอสฟอรัส (total P_2O_5)ไม่น้อยกว่า ๐.๕ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก -โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า ๐.๕ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
๑๐	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า ๘๐ เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑๑	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน ๕ มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน ๕๐๐ มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน ๕๐๐ มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน ๒ มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ข้อ ๒ มาตรฐานฉลากและบรรจุภัณฑ์ของปุ๋ยอินทรีย์

ต้องมีรายละเอียดบนภาชนะบรรจุดังนี้

๒.๑ ชื่อการค้าและเครื่องหมายการค้า

๒.๒ ชนิดของผลิตภัณฑ์

๒.๓ ปริมาณบรรจุเป็นน้ำหนักสุทธิ (ในระบบเมตริก)

๒.๔ ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิต

๒.๕ ระบุวัสดุที่ใช้ผลิตและอัตราส่วนที่ใช้

๒.๖ ระบุวันที่ผลิตและวันที่หมดอายุ

๒.๗ ระบุวิธีการใช้ การเก็บรักษา และข้อควรระวัง

เพื่อให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ มาตรา ๕๕ ให้ผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าต้องแจ้งกรมวิชาการเกษตรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยแสดงชื่อปุ๋ยอินทรีย์เครื่องหมายการค้า สถานที่ผลิต สถานที่เก็บ สถานที่ขาย และสถานที่ทำการ

การแจ้งดังกล่าวให้แจ้งได้ที่ผู้ว่าราชการจังหวัด เกษตรจังหวัด และหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร

ประกาศ ณ วันที่ ๒ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๔๘

ฉกรรจ์ แสงรักษาวงศ์

อธิบดีกรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

ตารางที่ ค-1 ค่าพีเอช ความนำไฟฟ้า บีโอดี ซีโอดี และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	pH	EC (dS/m)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Total Carbon (%)
กากน้ำตาล	1	5.16	108.30	74,000	197,472	27.64
	2	5.21	108.45	76,000	197,472	27.81
	3	5.20	108.35	72,000	193,600	27.58
	เฉลี่ย	*5.19*	*108.37*	*74,000*	*196,181*	*27.68*
น้ำกากส่า	1	4.20	72.50	38,000	154,880	5.62
	2	4.20	72.60	34,000	154,880	5.43
	3	4.18	72.50	36,000	151,008	5.83
	เฉลี่ย	*4.19*	*72.53*	*36,000*	*153,589*	*5.63*

ตารางที่ ค-2 ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำกากส่า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	Total Suspended Solids (mg/l)	Total Dissolved Solids (mg/l)	Total Solids (mg/l)
กากน้ำตาล	1	36,360	73,260	109,620
	2	36,140	73,100	109,240
	3	35,620	72,340	107,960
	เฉลี่ย	*36,040*	*72,900*	*108,940*
น้ำกากส่า	1	21,240	76,704	97,944
	2	21,256	76,952	98,208
	3	21,104	76,728	97,832
	เฉลี่ย	*21,200*	*76,795*	*97,995*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-3 ค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของกากน้ำตาลและน้ำกากส่า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	TKN		Available P		Water Soluble K	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
กากน้ำตาล	1	933.33	0.93	117.80	0.12	4190.56	4.19
	2	947.33	0.95	118.82	0.12	4160.48	4.16
	3	956.67	0.96	120.18	0.12	4210.61	4.21
	เฉลี่ย	945.78	0.95	118.93	0.12	4187.22	4.19
น้ำกากส่า	1	774.67	0.77	353.86	0.35	4802.10	4.80
	2	760.67	0.76	351.82	0.35	4762.00	4.76
	3	728.00	0.73	355.22	0.36	4721.90	4.72
	เฉลี่ย	754.44	0.75	353.64	0.35	4762.00	4.76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวิเคราะห์น้ำสกัดชีวภาพ

ตารางที่ ง-1 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7

วันที่	เวลา (วัน)	COD (mg/l)						
		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
19-Jan-07	0	189,412	130,588	145,882	147,059	114,118	115,294	128,235
26-Jan-07	7	174,545	112,727	127,273	136,970	94,545	100,606	110,303
2-Feb-07	14	96,000	66,667	77,333	101,333	37,333	45,333	53,333
9-Feb-07	21	89,333	69,333	80,000	94,667	52,000	57,333	66,667
16-Feb-07	28	83,871	69,677	81,290	87,742	50,323	56,774	65,806
23-Feb-07	35	85,333	70,667	84,000	91,333	36,000	50,667	62,667
2-Mar-07	42	86,667	68,667	76,667	86,000	44,000	56,667	64,000
9-Mar-07	49	115,556	98,413	102,222	109,206	65,397	78,095	81,270
16-Mar-07	56	61,290	39,355	48,387	50,323	44,516	58,710	69,032
23-Mar-07	63	53,115	28,197	38,033	38,689	32,131	46,557	54,426
30-Mar-07	70	48,667	30,000	36,667	38,667	29,333	42,667	53,333
6-Apr-07	77	46,667	36,667	40,000	40,667	32,667	40,667	50,667
13-Apr-07	84	41,311	29,508	32,787	34,098	24,918	37,377	42,623
19-Apr-07	90	49,180	33,443	36,066	38,689	30,820	38,689	45,902

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง P1-P7

วันที่	เวลา (วัน)	COD (mg/l)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
25-Jan-07	0	225,882	161,176	174,118	178,824	130,588	154,118	160,000
1-Feb-07	7	218,305	138,305	143,729	145,085	93,559	98,983	123,390
8-Feb-07	14	201,333	124,000	129,333	138,667	77,333	80,000	101,333
15-Feb-07	21	198,710	114,839	127,742	136,774	60,645	70,968	96,774
22-Feb-07	28	170,667	112,000	112,000	126,667	53,333	62,667	96,000
1-Mar-07	35	145,333	100,667	106,667	109,333	52,000	62,667	68,000
8-Mar-07	42	166,349	140,952	147,302	148,571	44,444	57,143	73,651
15-Mar-07	49	180,645	157,419	162,581	162,581	68,387	67,742	74,194
22-Mar-07	56	123,279	106,230	108,852	108,852	45,246	48,525	62,951
29-Mar-07	63	123,279	82,623	87,869	97,049	41,967	43,279	58,361
5-Apr-07	70	114,667	78,667	80,000	92,000	37,333	41,333	58,000
12-Apr-07	77	108,000	69,333	76,000	88,000	34,667	37,333	56,000
19-Apr-07	84	113,333	74,667	80,000	90,667	37,333	39,333	58,000
25-Apr-07	90	118,033	70,820	72,131	91,803	38,689	39,344	57,705

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 ค่าซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง F1-F7

วันที่	เวลา (วัน)	COD (mg/l)						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
20-Jan-07	0	201,739	147,246	153,043	154,203	112,464	118,261	120,580
27-Jan-07	7	194,783	141,449	148,406	155,362	120,580	127,536	134,493
3-Feb-07	14	192,000	122,667	130,667	133,333	104,000	117,333	128,000
10-Feb-07	21	237,333	152,000	157,333	170,667	105,333	105,333	113,333
17-Feb-07	28	253,333	173,333	177,333	180,000	124,000	129,333	133,333
24-Feb-07	35	240,000	144,000	156,000	174,667	110,667	126,667	126,667
3-Mar-07	42	222,667	128,000	129,333	140,000	82,667	85,333	98,667
10-Mar-07	49	233,962	160,000	161,509	173,585	104,151	114,717	117,736
17-Mar-07	56	218,065	150,968	157,419	166,452	112,258	117,419	118,710
24-Mar-07	63	198,033	104,918	106,230	127,213	62,295	66,885	76,066
31-Mar-07	70	205,902	116,721	120,656	141,639	81,967	89,836	101,639
7-Apr-07	77	213,770	115,410	121,967	137,705	87,869	97,705	107,541
14-Apr-07	84	205,333	105,333	106,667	125,333	80,667	86,667	94,667
20-Apr-07	90	186,667	98,667	106,667	133,333	84,667	84,000	90,667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-4 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง W1-W7

วันที่	เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
19-Jan-07	0	5.53	4.53	4.74	4.68	4.70	4.64	4.63
22-Jan-07	3	3.65	3.53	3.56	3.52	5.97	5.25	4.53
25-Jan-07	6	3.46	3.53	3.54	3.58	5.34	5.54	4.48
28-Jan-07	9	3.51	3.64	3.72	3.61	5.16	5.33	4.69
31-Jan-07	12	3.45	3.93	3.88	3.78	5.00	5.14	4.82
3-Feb-07	15	3.73	3.80	3.74	3.84	5.27	4.83	4.56
6-Feb-07	18	3.73	3.74	3.72	3.73	5.24	5.15	4.81
9-Feb-07	21	3.98	4.11	4.28	4.16	5.40	5.56	5.64
12-Feb-07	24	3.97	4.45	4.55	4.43	5.54	5.44	5.40
15-Feb-07	27	4.10	4.64	4.53	4.19	5.44	5.42	5.62
18-Feb-07	30	3.96	4.63	4.46	4.35	5.55	5.48	5.54
21-Feb-07	33	4.02	5.01	5.11	4.63	5.65	5.52	5.54
24-Feb-07	36	4.24	4.67	4.91	4.71	5.69	5.61	5.63
27-Feb-07	39	4.63	4.40	4.83	4.88	5.86	5.77	5.61
2-Mar-07	42	4.31	4.49	4.74	4.75	6.37	5.89	5.59
5-Mar-07	45	4.12	4.76	4.62	4.79	6.75	6.12	5.65
8-Mar-07	48	4.30	5.02	5.14	5.02	7.08	6.45	5.80
11-Mar-07	51	4.25	4.95	5.11	4.87	6.96	6.54	5.97
14-Mar-07	54	4.31	5.08	5.09	5.02	7.20	6.89	6.26
17-Mar-07	57	4.17	4.89	4.72	4.96	7.41	7.26	6.74
20-Mar-07	60	4.06	4.96	4.53	4.75	7.62	7.48	7.25
23-Mar-07	63	4.45	4.73	4.49	4.61	7.29	7.12	6.55
26-Mar-07	66	4.62	4.57	4.64	4.88	7.35	7.48	6.82
29-Mar-07	69	4.79	4.68	4.76	4.72	7.13	7.33	6.71
1-Apr-07	72	4.68	4.79	4.95	4.87	7.24	7.29	6.58
4-Apr-07	75	4.85	4.62	4.83	4.90	7.37	7.45	6.83
7-Apr-07	78	5.02	4.71	5.07	4.84	7.16	7.21	6.79
10-Apr-07	81	4.93	4.64	5.16	4.93	7.01	7.04	6.94
13-Apr-07	84	4.86	4.69	5.12	5.08	7.09	7.17	7.02
16-Apr-07	87	4.94	4.82	5.20	5.15	7.12	7.28	6.87
19-Apr-07	90	4.91	4.79	5.38	5.11	7.20	7.40	6.80

ตารางที่ ง-5 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง P1-P7

วันที่	เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
25-Jan-07	0	4.36	4.14	4.15	4.16	4.05	3.96	3.95
28-Jan-07	3	3.97	4.18	4.11	4.20	4.02	4.09	4.03
31-Jan-07	6	3.83	4.16	4.10	4.19	4.07	4.11	4.17
3-Feb-07	9	4.03	4.26	4.22	4.24	4.15	3.98	4.18
6-Feb-07	12	3.91	4.22	4.08	4.26	4.06	4.09	4.13
9-Feb-07	15	4.12	4.19	4.14	4.26	4.28	4.37	4.28
12-Feb-07	18	4.19	4.23	4.16	4.30	4.33	4.38	4.30
15-Feb-07	21	4.12	4.31	4.25	4.34	4.44	4.43	4.41
18-Feb-07	24	4.08	4.29	4.23	4.28	4.36	4.58	4.38
21-Feb-07	27	4.11	4.29	4.29	4.31	4.37	4.57	4.45
24-Feb-07	30	4.06	4.13	4.18	4.25	4.45	4.84	4.51
27-Feb-07	33	4.12	4.27	4.33	4.29	4.42	5.13	4.66
2-Mar-07	36	4.09	4.11	4.21	4.33	4.59	5.18	4.87
5-Mar-07	39	4.17	4.24	4.27	4.21	4.71	5.22	4.93
8-Mar-07	42	4.14	4.27	4.24	4.25	4.77	5.25	4.89
11-Mar-07	45	4.10	4.15	4.09	4.37	4.83	5.51	5.24
14-Mar-07	48	4.09	4.21	4.17	4.22	5.11	5.32	5.59
17-Mar-07	51	4.25	4.29	4.22	4.31	5.54	5.87	5.72
20-Mar-07	54	4.46	4.37	4.26	4.44	6.02	6.40	6.00
23-Mar-07	57	4.34	4.46	4.31	4.52	6.36	6.48	6.41
26-Mar-07	60	4.22	4.35	4.29	4.63	6.29	6.63	6.58
29-Mar-07	63	4.35	4.42	4.37	4.57	6.35	6.51	6.43
1-Apr-07	66	4.41	4.53	4.44	4.69	6.48	6.56	6.52
4-Apr-07	69	4.39	4.61	4.48	4.74	6.37	6.49	6.47
7-Apr-07	72	4.27	4.64	4.41	4.85	6.52	6.67	6.61
10-Apr-07	75	4.46	4.58	4.35	4.71	6.44	6.52	6.49
13-Apr-07	78	4.42	4.41	4.43	4.93	6.49	6.58	6.50
16-Apr-07	81	4.34	4.37	4.46	4.86	6.53	6.74	6.64
19-Apr-07	84	4.29	4.39	4.52	4.90	6.71	6.65	6.68
22-Apr-07	87	4.31	4.46	4.74	4.82	6.68	6.83	6.87
25-Apr-07	90	4.33	4.53	4.69	4.87	6.74	7.01	6.92

ตารางที่ ง-6 ค่าพีเอชของน้ำสกัดชีวภาพตัวอย่าง F1-F7

วันที่	เวลา (วัน)	ตัวอย่าง						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
20-Jan-07	0	5.20	4.74	4.72	4.47	4.62	4.59	4.58
23-Jan-07	3	3.95	3.99	3.79	3.80	4.83	4.65	4.54
26-Jan-07	6	4.33	4.28	4.41	4.46	5.67	4.83	4.50
29-Jan-07	9	3.71	4.05	4.08	3.90	5.56	5.04	5.04
1-Feb-07	12	4.22	4.18	4.11	4.09	5.61	5.19	5.39
4-Feb-07	15	4.16	4.21	4.35	4.07	5.55	5.16	5.37
7-Feb-07	18	4.04	4.47	4.52	4.03	5.53	5.20	5.32
10-Feb-07	21	4.32	4.43	4.20	4.11	5.63	5.21	5.31
13-Feb-07	24	4.70	3.88	4.25	4.38	5.70	5.18	5.28
16-Feb-07	27	4.50	3.91	4.29	4.50	5.73	5.21	5.32
19-Feb-07	30	4.58	3.85	4.34	4.48	5.71	5.21	5.31
22-Feb-07	33	4.66	3.87	4.51	4.56	5.82	5.29	5.44
25-Feb-07	36	4.79	3.94	4.73	4.64	5.76	5.37	5.52
28-Feb-07	39	4.93	4.00	5.11	4.78	5.89	5.40	5.55
3-Mar-07	42	5.21	4.12	5.29	4.95	5.98	5.46	5.61
6-Mar-07	45	5.57	4.41	5.35	5.43	5.81	5.54	5.68
9-Mar-07	48	5.82	4.83	5.43	5.53	5.53	5.47	5.76
12-Mar-07	51	5.69	4.76	5.37	5.61	5.77	5.32	5.69
15-Mar-07	54	5.74	5.00	5.45	5.67	5.95	5.20	5.83
18-Mar-07	57	5.88	5.27	5.51	5.74	6.12	5.51	6.22
21-Mar-07	60	5.91	5.18	5.70	5.90	6.24	5.63	6.45
24-Mar-07	63	6.05	5.11	5.62	5.88	6.36	5.77	6.31
27-Mar-07	66	6.12	5.24	5.65	6.06	6.42	5.74	6.29
30-Mar-07	69	6.17	5.16	5.79	6.13	6.48	5.68	6.05
2-Apr-07	72	6.23	5.42	5.54	6.25	6.43	5.71	6.14
5-Apr-07	75	6.29	5.39	5.67	6.17	6.57	5.76	6.26
8-Apr-07	78	6.34	5.57	5.73	6.21	6.67	5.83	6.17
11-Apr-07	81	6.21	5.63	5.71	6.34	6.58	5.90	6.28
14-Apr-07	84	6.42	5.51	5.78	6.42	6.64	6.02	6.33
17-Apr-07	87	6.58	5.74	5.92	6.39	6.71	6.14	6.42
20-Apr-07	90	6.77	5.62	5.86	6.51	6.69	6.25	6.48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-7 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	ปริมาณ H_2SO_4 0.02N (ml)					TKN (mg/l)	TKN (%)
		Blank	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	5	0.50	7.50	7.40	7.45	7.45	389.20	0.39
W2	5	0.50	7.75	7.80	7.80	7.78	407.40	0.41
W3	5	0.50	8.50	8.45	8.50	8.48	446.60	0.45
W4	5	0.50	10.60	10.65	10.70	10.65	568.40	0.57
W5	5	0.50	7.45	7.50	7.50	7.48	390.60	0.39
W6	5	0.50	8.20	8.10	8.15	8.15	428.40	0.43
W7	5	0.50	9.85	9.90	9.80	9.85	523.60	0.52
P1	5	0.50	4.55	4.50	4.55	4.53	225.40	0.23
P2	5	0.50	3.75	3.60	3.75	3.68	177.80	0.18
P3	5	0.50	4.30	4.35	4.35	4.33	214.20	0.21
P4	5	0.50	5.65	5.60	5.65	5.63	287.00	0.29
P5	5	0.45	3.15	3.15	3.15	3.15	151.20	0.15
P6	5	0.45	4.70	4.65	4.70	4.68	236.60	0.24
P7	5	0.45	6.55	6.50	6.55	6.53	340.20	0.34
F1	5	0.50	9.40	9.45	9.45	9.43	499.80	0.50
F2	5	0.50	8.80	8.80	8.80	8.80	464.80	0.46
F3	5	0.50	9.15	9.10	9.15	9.13	483.00	0.48
F4	5	0.50	9.90	9.85	9.90	9.88	525.00	0.53
F5	5	0.50	8.45	8.45	8.45	8.45	445.20	0.45
F6	5	0.50	9.90	9.80	9.85	9.85	523.60	0.52
F7	5	0.50	10.30	10.15	10.20	10.22	544.60	0.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-8 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	ปริมาณ H_2SO_4 0.02N (ml)					TKN (mg/l)	TKN (%)
		Blank	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	5	0.50	13.75	13.80	13.80	13.78	743.40	0.74
W2	5	0.50	7.50	7.40	7.45	7.45	389.20	0.39
W3	5	0.50	7.80	7.80	7.80	7.80	408.80	0.41
W4	5	0.50	10.10	10.05	10.10	10.08	536.20	0.54
W5	5	0.50	4.40	4.40	4.40	4.40	218.40	0.22
W6	5	0.50	6.70	6.65	6.70	6.68	345.80	0.35
W7	5	0.50	7.75	7.70	7.75	7.73	404.60	0.40
P1	5	0.50	5.65	5.60	5.65	5.63	287.00	0.29
P2	5	0.50	3.15	3.15	3.15	3.15	148.40	0.15
P3	5	0.50	3.80	3.80	3.80	3.80	184.80	0.18
P4	5	0.50	4.70	4.65	4.70	4.68	233.80	0.23
P5	5	0.45	4.20	4.20	4.20	4.20	210.00	0.21
P6	5	0.45	5.05	5.00	5.05	5.03	256.20	0.26
P7	5	0.45	5.85	5.85	5.85	5.85	302.40	0.30
F1	5	0.50	18.90	18.80	18.85	18.85	1027.60	1.03
F2	5	0.50	9.90	9.80	9.85	9.85	523.60	0.52
F3	5	0.50	11.00	11.00	11.00	11.00	588.00	0.59
F4	5	0.50	13.20	13.25	13.25	13.23	712.60	0.71
F5	5	0.50	16.00	16.05	16.05	16.03	869.40	0.87
F6	5	0.50	14.00	13.95	14.00	13.98	754.60	0.75
F7	5	0.50	15.10	15.15	15.15	15.13	819.00	0.82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-9 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	H_2SO_4 0.02N (ml)					TKN (mg/l)	TKN (%)
		Blank	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3	0.10	10.70	10.70	10.70	10.70	989.33	0.99
W2	3	0.10	1.15	1.15	1.15	1.15	98.00	0.10
W3	3	0.10	1.80	1.80	1.80	1.80	158.67	0.16
W4	3	0.10	2.10	2.10	2.10	2.10	186.67	0.19
W5	3	0.10	3.70	3.70	3.70	3.70	336.00	0.34
W6	3	0.10	4.20	4.15	4.20	4.18	380.33	0.38
W7	3	0.10	5.00	5.05	5.05	5.03	459.67	0.46
P1	3	0.10	5.05	5.00	5.05	5.03	459.67	0.46
P2	3	0.10	1.10	1.10	1.10	1.10	93.33	0.09
P3	3	0.10	1.35	1.35	1.35	1.35	116.67	0.12
P4	3	0.10	1.50	1.50	1.50	1.50	130.67	0.13
P5	3	0.20	2.85	2.80	2.85	2.83	245.00	0.25
P6	3	0.20	3.40	3.40	3.40	3.40	298.67	0.30
P7	3	0.20	3.50	3.50	3.50	3.50	308.00	0.31
F1	3	0.20	14.90	14.85	14.90	14.88	1369.67	1.37
F2	3	0.20	7.20	7.20	7.20	7.20	653.33	0.65
F3	3	0.20	8.15	8.15	8.15	8.15	742.00	0.74
F4	3	0.20	8.55	8.50	8.55	8.53	777.00	0.78
F5	3	0.20	11.65	11.65	11.65	11.65	1068.67	1.07
F6	3	0.20	12.70	12.70	12.70	12.70	1166.67	1.17
F7	3	0.20	14.00	14.05	14.05	14.03	1290.33	1.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-10 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	H_2SO_4 0.02N (ml)					TKN (mg/l)	TKN (%)
		Blank	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3	0.50	11.50	11.60	11.55	11.55	1031.33	1.03
W2	3	0.50	3.30	3.15	3.25	3.23	254.33	0.25
W3	3	0.50	3.90	3.90	3.90	3.90	317.33	0.32
W4	3	0.50	4.70	4.70	4.70	4.70	392.00	0.39
W5	3	0.50	2.40	2.45	2.45	2.43	179.67	0.18
W6	3	0.50	3.80	3.85	3.85	3.83	310.33	0.31
W7	3	0.50	5.20	5.25	5.25	5.23	441.00	0.44
P1	3	0.50	4.85	4.70	4.80	4.78	399.00	0.40
P2	3	0.50	1.80	1.75	1.80	1.78	119.00	0.12
P3	3	0.50	2.20	2.40	2.30	2.30	168.00	0.17
P4	3	0.50	2.40	2.35	2.40	2.38	175.00	0.18
P5	3	0.45	3.15	3.15	3.15	3.15	252.00	0.25
P6	3	0.45	3.30	3.20	3.25	3.25	261.33	0.26
P7	3	0.45	3.60	3.60	3.60	3.60	294.00	0.29
F1	3	0.50	15.60	15.40	15.50	15.50	1400.00	1.40
F2	3	0.50	4.95	5.00	5.00	4.98	417.67	0.42
F3	3	0.50	7.15	7.00	7.10	7.08	613.67	0.61
F4	3	0.50	7.60	7.70	7.65	7.65	667.33	0.67
F5	3	0.50	10.30	10.15	10.25	10.23	907.67	0.91
F6	3	0.50	9.55	9.65	9.60	9.60	849.33	0.85
F7	3	0.50	11.05	11.00	11.05	11.03	982.33	0.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

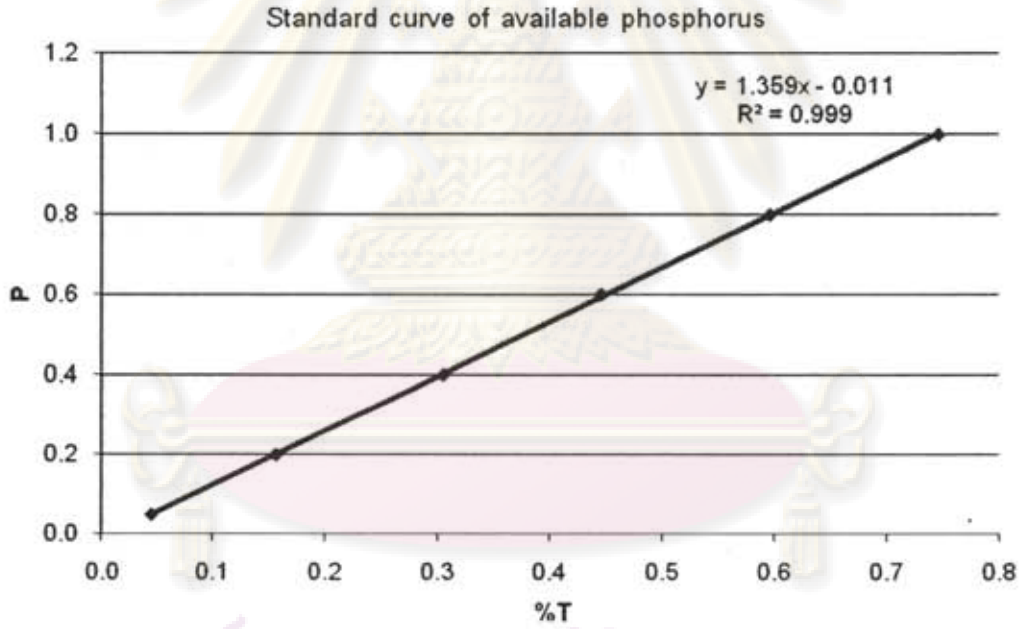
ตารางที่ ง-11 ค่าไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	H_2SO_4 0.02N (ml)					TKN (mg/l)	TKN (%)
		Blank	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3	0.15	11.65	11.60	11.65	11.63	1071.00	1.07
W2	3	0.15	4.60	4.50	4.55	4.55	410.67	0.41
W3	3	0.15	5.25	5.30	5.30	5.28	478.33	0.48
W4	3	0.15	6.70	6.80	6.75	6.75	616.00	0.62
W5	3	0.15	1.65	1.80	1.75	1.73	147.00	0.15
W6	3	0.15	2.30	2.10	2.20	2.20	191.33	0.19
W7	3	0.15	2.55	2.50	2.55	2.53	221.67	0.22
P1	3	0.20	4.35	4.40	4.40	4.38	389.67	0.39
P2	3	0.20	1.80	1.75	1.80	1.78	147.00	0.15
P3	3	0.20	2.40	2.50	2.45	2.45	210.00	0.21
P4	3	0.20	2.85	2.80	2.85	2.83	245.00	0.25
P5	3	0.20	2.70	2.75	2.75	2.73	235.67	0.24
P6	3	0.20	3.20	3.10	3.15	3.15	275.33	0.28
P7	3	0.20	3.60	3.55	3.60	3.58	315.00	0.32
F1	3	0.20	16.15	16.05	16.10	16.10	1484.00	1.48
F2	3	0.20	2.05	2.00	2.05	2.03	170.33	0.17
F3	3	0.20	4.60	4.80	4.70	4.70	420.00	0.42
F4	3	0.20	5.45	5.60	5.55	5.53	497.00	0.50
F5	3	0.20	7.75	7.70	7.75	7.73	702.33	0.70
F6	3	0.20	8.30	8.20	8.25	8.25	751.33	0.75
F7	3	0.20	8.80	8.90	8.85	8.85	807.33	0.81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-12 ค่าฟอสฟอรัสมาตรฐานของน้ำสกัดชีวภาพ

Std.P (mg/ml)	1	2	3	เฉลี่ย
1.00	0.746	0.746	0.746	0.746
0.80	0.596	0.596	0.596	0.596
0.60	0.446	0.446	0.445	0.446
0.40	0.305	0.305	0.305	0.305
0.20	0.156	0.156	0.156	0.156
0.05	0.045	0.045	0.045	0.045



รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานของฟอสฟอรัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-13 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Dilution	Absorbance				P from Std.curve	Available P	Available P
		1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	-	0.510	0.510	0.511	0.510	0.682	170.59	0.17
W2	-	0.321	0.321	0.322	0.321	0.425	106.36	0.11
W3	-	0.349	0.349	0.350	0.349	0.463	115.87	0.12
W4	-	0.407	0.407	0.408	0.407	0.542	135.58	0.14
W5	-	0.079	0.079	0.079	0.079	0.096	24.00	0.02
W6	-	0.184	0.184	0.184	0.184	0.239	59.68	0.06
W7	-	0.398	0.398	0.397	0.398	0.529	132.30	0.13
P1	-	0.463	0.463	0.464	0.463	0.618	154.61	0.15
P2	-	0.430	0.430	0.430	0.430	0.573	143.29	0.14
P3	-	0.355	0.355	0.355	0.355	0.471	117.80	0.12
P4	-	0.357	0.357	0.358	0.357	0.474	118.59	0.12
P5	-	0.297	0.298	0.298	0.298	0.393	98.31	0.10
P6	-	0.354	0.354	0.354	0.354	0.470	117.46	0.12
P7	-	0.300	0.300	0.300	0.300	0.396	99.11	0.10
F1	0.50	0.719	0.719	0.720	0.719	0.967	483.25	0.48
F2	0.50	0.685	0.685	0.685	0.685	0.919	459.57	0.46
F3	0.50	0.725	0.725	0.725	0.725	0.974	486.87	0.49
F4	0.25	0.496	0.497	0.497	0.497	0.665	664.62	0.66
F5	0.25	0.416	0.416	0.416	0.416	0.554	553.94	0.55
F6	0.25	0.388	0.389	0.389	0.389	0.517	517.46	0.52
F7	0.50	0.646	0.646	0.646	0.646	0.866	433.18	0.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-14 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Dilution	Absorbance				P from Std.curve	Available P	Available P
		1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	-	0.597	0.597	0.596	0.597	0.800	199.93	0.20
W2	-	0.365	0.364	0.364	0.364	0.484	120.97	0.12
W3	-	0.370	0.370	0.370	0.370	0.492	122.89	0.12
W4	-	0.392	0.392	0.392	0.392	0.521	130.37	0.13
W5	-	0.074	0.074	0.074	0.074	0.089	22.30	0.02
W6	-	0.126	0.126	0.125	0.126	0.159	39.86	0.04
W7	-	0.248	0.248	0.249	0.248	0.326	81.55	0.08
P1	-	0.404	0.404	0.405	0.404	0.538	134.56	0.13
P2	-	0.361	0.361	0.361	0.361	0.479	119.84	0.12
P3	-	0.349	0.349	0.349	0.349	0.463	115.76	0.12
P4	-	0.308	0.308	0.308	0.308	0.407	101.82	0.10
P5	-	0.311	0.311	0.311	0.311	0.411	102.84	0.10
P6	-	0.363	0.363	0.362	0.363	0.482	120.40	0.12
P7	-	0.350	0.349	0.349	0.349	0.463	115.87	0.12
F1	0.50	0.618	0.618	0.617	0.618	0.828	414.15	0.41
F2	0.50	0.557	0.557	0.557	0.557	0.745	372.68	0.37
F3	0.50	0.645	0.646	0.646	0.646	0.866	433.18	0.43
F4	0.25	0.485	0.485	0.485	0.485	0.648	647.62	0.65
F5	0.25	0.393	0.393	0.392	0.393	0.523	523.24	0.52
F6	0.25	0.382	0.382	0.382	0.382	0.508	507.60	0.51
F7	0.50	0.649	0.649	0.648	0.649	0.871	435.33	0.44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-15 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Dilution	Absorbance				P from Std.curve	Available P	Available P
		1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	-	0.630	0.630	0.630	0.630	0.845	211.26	0.21
W2	-	0.417	0.418	0.419	0.418	0.557	139.21	0.14
W3	-	0.424	0.422	0.423	0.423	0.564	140.91	0.14
W4	-	0.368	0.368	0.368	0.368	0.489	122.21	0.12
W5	-	0.049	0.049	0.049	0.049	0.055	13.80	0.01
W6	-	0.073	0.074	0.074	0.074	0.089	22.19	0.02
W7	-	0.085	0.086	0.085	0.085	0.105	26.15	0.03
P1	-	0.366	0.366	0.366	0.366	0.486	121.54	0.12
P2	-	0.334	0.333	0.333	0.333	0.442	110.43	0.11
P3	-	0.345	0.345	0.345	0.345	0.458	114.40	0.11
P4	-	0.261	0.261	0.261	0.261	0.343	85.85	0.09
P5	-	0.351	0.350	0.350	0.350	0.465	116.21	0.12
P6	-	0.364	0.364	0.364	0.364	0.483	120.86	0.12
P7	-	0.377	0.377	0.378	0.377	0.502	125.39	0.13
F1	0.50	0.552	0.552	0.552	0.552	0.739	369.29	0.37
F2	0.50	0.448	0.448	0.447	0.448	0.597	298.48	0.30
F3	0.50	0.563	0.563	0.563	0.563	0.754	377.10	0.38
F4	0.25	0.472	0.473	0.473	0.473	0.632	631.76	0.63
F5	0.25	0.392	0.392	0.392	0.392	0.521	521.31	0.52
F6	0.25	0.371	0.372	0.372	0.372	0.494	494.24	0.49
F7	0.50	0.651	0.651	0.651	0.651	0.874	436.80	0.44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-16 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Dilution	Absorbance				P from Std.curve	Available P	Available P
		1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	-	0.597	0.597	0.598	0.597	0.801	200.15	0.20
W2	-	0.244	0.244	0.244	0.244	0.320	80.07	0.08
W3	-	0.329	0.329	0.330	0.329	0.436	109.07	0.11
W4	-	0.215	0.215	0.215	0.215	0.281	70.22	0.07
W5	-	0.065	0.065	0.066	0.065	0.077	19.35	0.02
W6	-	0.128	0.127	0.127	0.127	0.162	40.42	0.04
W7	-	0.129	0.129	0.128	0.129	0.164	40.88	0.04
P1	-	0.360	0.360	0.360	0.360	0.478	119.50	0.12
P2	-	0.311	0.312	0.312	0.312	0.412	103.07	0.10
P3	-	0.294	0.294	0.294	0.294	0.388	97.07	0.10
P4	-	0.249	0.249	0.249	0.249	0.327	81.77	0.08
P5	-	0.243	0.243	0.243	0.243	0.319	79.73	0.08
P6	-	0.302	0.302	0.302	0.302	0.399	99.78	0.10
P7	-	0.351	0.352	0.352	0.352	0.467	116.66	0.12
F1	0.50	0.434	0.434	0.434	0.434	0.578	289.08	0.29
F2	0.50	0.508	0.508	0.507	0.508	0.679	339.49	0.34
F3	0.50	0.565	0.565	0.565	0.565	0.756	378.12	0.38
F4	0.25	0.457	0.457	0.456	0.457	0.610	609.56	0.61
F5	0.25	0.383	0.383	0.383	0.383	0.510	509.76	0.51
F6	0.50	0.718	0.719	0.719	0.719	0.966	483.02	0.48
F7	0.50	0.601	0.601	0.600	0.601	0.806	402.93	0.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

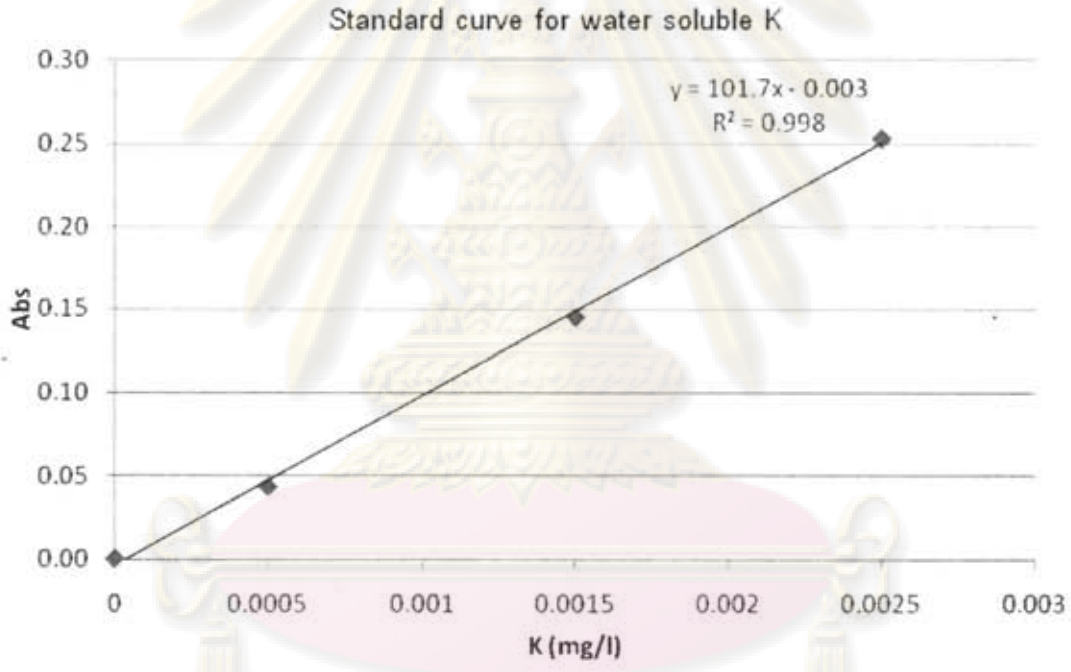
ตารางที่ ง-17 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Dilution	Absorbance				P from Std.curve	Available P	Available P
		1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	-	0.554	0.554	0.555	0.554	0.742	185.54	0.19
W2	-	0.077	0.077	0.077	0.077	0.093	23.32	0.02
W3	-	0.280	0.280	0.280	0.280	0.369	92.31	0.09
W4	-	0.066	0.066	0.066	0.066	0.078	19.58	0.02
W5	-	0.075	0.075	0.075	0.075	0.091	22.64	0.02
W6	-	0.210	0.210	0.210	0.210	0.274	68.52	0.07
W7	-	0.188	0.187	0.187	0.187	0.243	60.82	0.06
P1	-	0.356	0.356	0.356	0.356	0.473	118.14	0.12
P2	-	0.292	0.292	0.292	0.292	0.386	96.39	0.10
P3	-	0.221	0.221	0.222	0.221	0.289	72.37	0.07
P4	-	0.235	0.235	0.235	0.235	0.308	77.01	0.08
P5	-	0.147	0.148	0.148	0.148	0.189	47.33	0.05
P6	-	0.252	0.251	0.252	0.252	0.331	82.68	0.08
P7	-	0.272	0.271	0.271	0.271	0.357	89.36	0.09
F1	0.50	0.388	0.389	0.389	0.389	0.518	258.95	0.26
F2	0.50	0.543	0.543	0.543	0.543	0.726	363.06	0.36
F3	0.50	0.619	0.619	0.618	0.619	0.830	415.17	0.42
F4	0.25	0.456	0.456	0.455	0.456	0.609	608.65	0.61
F5	0.50	0.700	0.700	0.699	0.700	0.940	469.99	0.47
F6	0.50	0.702	0.702	0.702	0.702	0.943	471.69	0.47
F7	0.50	0.520	0.521	0.521	0.521	0.696	348.10	0.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-18 ค่าโพแทสเซียมมาตรฐานของน้ำสกัดชีวภาพ

Std.K (mg/l)	Abs1	Abs2	Abs3	เฉลี่ย
0.0000	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003
0.0005	0.0439	0.0438	0.0440	0.0439
0.0015	0.1445	0.1457	0.1447	0.1450
0.0025	0.2529	0.2535	0.2537	0.2534



รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-19 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Absorbance				K from Std.curve	Water soluble K	Water soluble K
	1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	0.0518	0.0515	0.0517	0.0517	0.1036	517.97	0.52
W2	0.0416	0.0421	0.0418	0.0418	0.0839	419.39	0.42
W3	0.0445	0.0445	0.0441	0.0444	0.0890	444.79	0.44
W4	0.0463	0.0463	0.0461	0.0462	0.0927	463.50	0.46
W5	0.0459	0.0454	0.0454	0.0456	0.0914	456.82	0.46
W6	0.0450	0.0450	0.0437	0.0446	0.0894	446.79	0.45
W7	0.0473	0.0473	0.0472	0.0473	0.0948	473.86	0.47
P1	0.0455	0.0456	0.0456	0.0456	0.0914	456.82	0.46
P2	0.0470	0.0473	0.0472	0.0472	0.0946	472.86	0.47
P3	0.0509	0.0512	0.0505	0.0509	0.1020	509.95	0.51
P4	0.0521	0.0519	0.0521	0.0520	0.1043	521.65	0.52
P5	0.0442	0.0450	0.0446	0.0446	0.0894	447.13	0.45
P6	0.0421	0.0432	0.0425	0.0426	0.0854	427.08	0.43
P7	0.0459	0.0456	0.0458	0.0458	0.0918	458.82	0.46
F1	0.0600	0.0605	0.0601	0.0602	0.1207	603.52	0.60
F2	0.0422	0.0423	0.0420	0.0422	0.0845	422.73	0.42
F3	0.0454	0.0459	0.0443	0.0452	0.0906	453.14	0.45
F4	0.0484	0.0485	0.0485	0.0485	0.0972	485.89	0.49
F5	0.0798	0.0790	0.0795	0.0794	0.1593	796.34	0.80
F6	0.0829	0.0831	0.0834	0.0831	0.1667	833.43	0.83
F7	0.0844	0.0844	0.0846	0.0845	0.1694	846.80	0.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-20 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Absorbance				K from Std.curve	Water soluble K	Water soluble K
	1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	0.0521	0.0524	0.0520	0.0522	0.1046	522.98	0.52
W2	0.0422	0.0420	0.0425	0.0422	0.0847	423.40	0.42
W3	0.0447	0.0445	0.0448	0.0447	0.0896	447.80	0.45
W4	0.0485	0.0479	0.0481	0.0482	0.0966	482.88	0.48
W5	0.0461	0.0460	0.0465	0.0462	0.0926	463.17	0.46
W6	0.0441	0.0445	0.0443	0.0443	0.0888	444.12	0.44
W7	0.0477	0.0472	0.0480	0.0476	0.0955	477.54	0.48
P1	0.0725	0.0718	0.0720	0.0721	0.1446	722.82	0.72
P2	0.0496	0.0495	0.0492	0.0494	0.0991	495.58	0.50
P3	0.0553	0.0557	0.0554	0.0555	0.1112	556.07	0.56
P4	0.0560	0.0559	0.0565	0.0561	0.1126	562.75	0.56
P5	0.0534	0.0530	0.0531	0.0532	0.1066	533.01	0.53
P6	0.0485	0.0482	0.0479	0.0482	0.0966	483.22	0.48
P7	0.0658	0.0655	0.0660	0.0658	0.1319	659.33	0.66
F1	0.0731	0.0730	0.0734	0.0732	0.1467	733.52	0.73
F2	0.0467	0.0465	0.0468	0.0467	0.0936	467.85	0.47
F3	0.0505	0.0505	0.0505	0.0505	0.1012	506.14	0.51
F4	0.0540	0.0547	0.0539	0.0542	0.1087	543.37	0.54
F5	0.0593	0.0594	0.0590	0.0592	0.1188	593.83	0.59
F6	0.0624	0.0630	0.0625	0.0626	0.1256	627.92	0.63
F7	0.0655	0.0658	0.0651	0.0655	0.1313	656.32	0.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-21 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Absorbance				K from Std.curve	Water soluble K	Water soluble K
	1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	0.0535	0.0534	0.0536	0.0535	0.1073	536.35	0.54
W2	0.0425	0.0429	0.0428	0.0427	0.0857	428.41	0.43
W3	0.0450	0.0451	0.0452	0.0451	0.0904	452.14	0.45
W4	0.0504	0.0496	0.0503	0.0501	0.1005	502.27	0.50
W5	0.0463	0.0468	0.0468	0.0466	0.0935	467.51	0.47
W6	0.0434	0.0437	0.0437	0.0436	0.0874	437.10	0.44
W7	0.0484	0.0485	0.0489	0.0486	0.0974	487.23	0.49
P1	0.1018	0.1019	0.1025	0.1021	0.2046	1023.25	1.02
P2	0.0509	0.0510	0.0512	0.0510	0.1023	511.62	0.51
P3	0.0618	0.0615	0.0616	0.0616	0.1236	617.89	0.62
P4	0.0607	0.0611	0.0614	0.0611	0.1224	612.21	0.61
P5	0.0604	0.0603	0.0609	0.0605	0.1214	606.86	0.61
P6	0.0501	0.0504	0.0500	0.0502	0.1006	502.93	0.50
P7	0.0880	0.0879	0.0884	0.0881	0.1766	883.23	0.88
F1	0.0904	0.0919	0.0905	0.0909	0.1823	911.63	0.91
F2	0.0481	0.0499	0.0478	0.0486	0.0974	487.23	0.49
F3	0.0548	0.0553	0.0545	0.0549	0.1100	550.05	0.55
F4	0.0612	0.0618	0.0611	0.0614	0.1230	615.22	0.62
F5	0.0444	0.0447	0.0444	0.0445	0.0892	446.12	0.45
F6	0.0425	0.0425	0.0425	0.0425	0.0852	426.07	0.43
F7	0.0497	0.0492	0.0495	0.0495	0.0992	495.92	0.50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-22 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Absorbance				K from Std.curve	Water soluble K	Water soluble K
	1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	0.0658	0.0657	0.0658	0.0658	0.1319	659.33	0.66
W2	0.0560	0.0561	0.0561	0.0561	0.1124	562.05	0.56
W3	0.0583	0.0582	0.0581	0.0582	0.1167	583.47	0.58
W4	0.0602	0.0602	0.0602	0.0602	0.1207	603.39	0.60
W5	0.0484	0.0483	0.0483	0.0483	0.0969	484.52	0.48
W6	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0954	477.20	0.48
W7	0.0505	0.0505	0.0505	0.0505	0.1012	506.01	0.51
P1	0.0843	0.0842	0.0842	0.0842	0.1689	844.26	0.84
P2	0.0519	0.0517	0.0518	0.0518	0.1038	519.14	0.52
P3	0.0549	0.0550	0.0550	0.0549	0.1102	550.79	0.55
P4	0.0561	0.0562	0.0561	0.0561	0.1125	562.68	0.56
P5	0.0533	0.0534	0.0533	0.0533	0.1069	534.65	0.53
P6	0.0508	0.0508	0.0507	0.0508	0.1018	508.85	0.51
P7	0.0635	0.0635	0.0636	0.0635	0.1274	636.84	0.64
F1	0.0925	0.0925	0.0924	0.0925	0.1854	926.94	0.93
F2	0.0736	0.0736	0.0737	0.0736	0.1476	738.23	0.74
F3	0.0750	0.0751	0.0751	0.0751	0.1505	752.56	0.75
F4	0.0761	0.0762	0.0761	0.0761	0.1527	763.32	0.76
F5	0.0684	0.0684	0.0683	0.0683	0.1370	685.19	0.69
F6	0.0673	0.0673	0.0672	0.0672	0.1348	674.13	0.67
F7	0.0704	0.0705	0.0704	0.0704	0.1412	706.15	0.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-23 ค่าโพแทสเซียมของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Absorbance				K from Std.curve	Water soluble K	Water soluble K
	1	2	3	Mean	(mg/l)	(mg/l)	(%)
W1	0.0813	0.0821	0.0818	0.0817	0.1639	819.40	0.82
W2	0.0694	0.0695	0.0693	0.0694	0.1392	695.75	0.70
W3	0.0710	0.0720	0.0712	0.0714	0.1432	715.80	0.72
W4	0.0730	0.0731	0.0737	0.0733	0.1469	734.52	0.73
W5	0.0496	0.0490	0.0492	0.0493	0.0988	493.91	0.49
W6	0.0485	0.0482	0.0485	0.0484	0.0970	485.22	0.49
W7	0.0502	0.0499	0.0501	0.0501	0.1004	501.93	0.50
P1	0.0600	0.0599	0.0596	0.0598	0.1200	599.84	0.60
P2	0.0507	0.0503	0.0504	0.0505	0.1012	505.94	0.51
P3	0.0521	0.0524	0.0521	0.0522	0.1047	523.32	0.52
P4	0.0558	0.0556	0.0562	0.0559	0.1120	560.08	0.56
P5	0.0499	0.0501	0.0495	0.0498	0.0999	499.59	0.50
P6	0.0492	0.0495	0.0495	0.0494	0.0990	495.25	0.50
P7	0.0510	0.0509	0.0507	0.0509	0.1020	509.95	0.51
F1	0.1069	0.1067	0.1068	0.1068	0.2141	1070.70	1.07
F2	0.0920	0.0918	0.0925	0.0921	0.1847	923.33	0.92
F3	0.0954	0.0956	0.0957	0.0956	0.1916	958.08	0.96
F4	0.0969	0.0965	0.0964	0.0966	0.1937	968.44	0.97
F5	0.0915	0.0912	0.0910	0.0912	0.1829	914.64	0.91
F6	0.0901	0.0907	0.0905	0.0904	0.1813	906.62	0.91
F7	0.0938	0.0934	0.0934	0.0935	0.1875	937.70	0.94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-24 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Total Carbon (%)				TKN (%)	C/N ratio
	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	4.149	4.008	3.874	4.010	0.39	10.23
W2	3.475	3.471	3.270	3.405	0.41	8.39
W3	3.795	3.361	3.765	3.640	0.45	8.13
W4	4.034	3.912	4.266	4.071	0.57	7.20
W5	3.123	2.958	2.576	2.886	0.39	7.41
W6	2.223	2.156	2.240	2.206	0.43	5.12
W7	2.541	2.465	2.713	2.573	0.52	4.94
P1	5.374	5.382	5.413	5.390	0.23	23.76
P2	4.639	4.556	4.582	4.592	0.18	25.23
P3	4.661	4.445	4.385	4.497	0.21	21.13
P4	4.027	4.040	4.055	4.041	0.29	14.01
P5	2.923	2.945	2.909	2.926	0.15	19.35
P6	3.276	3.454	3.368	3.366	0.24	14.14
P7	3.986	3.997	4.250	4.078	0.34	11.94
F1	7.244	7.300	7.306	7.283	0.50	14.61
F2	5.870	5.909	5.804	5.861	0.46	12.61
F3	5.001	4.837	4.841	4.893	0.48	10.10
F4	4.978	4.867	4.960	4.935	0.53	9.38
F5	4.227	4.000	4.216	4.148	0.45	9.32
F6	3.628	3.656	3.268	3.517	0.53	6.68
F7	3.694	3.682	3.416	3.597	0.55	6.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-25 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Total Carbon (%)				TKN (%)	C/N ratio
	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3.941	3.980	3.978	3.966	0.39	10.12
W2	3.197	3.203	3.204	3.201	0.41	7.89
W3	3.485	3.463	3.467	3.472	0.45	7.75
W4	3.850	3.849	3.862	3.854	0.57	6.81
W5	2.612	2.635	2.603	2.617	0.39	6.72
W6	2.115	2.143	2.167	2.142	0.43	4.97
W7	2.354	2.335	2.320	2.336	0.52	4.49
P1	4.839	4.865	4.828	4.844	0.23	21.36
P2	4.261	4.250	4.241	4.251	0.18	23.36
P3	3.952	3.917	3.929	3.933	0.21	18.48
P4	3.661	3.847	3.795	3.768	0.29	13.06
P5	2.723	2.745	2.709	2.726	0.15	18.03
P6	2.778	2.768	2.735	2.760	0.24	11.60
P7	3.497	3.506	3.490	3.498	0.34	10.24
F1	6.520	6.513	6.544	6.526	0.50	13.09
F2	5.100	5.125	5.116	5.114	0.46	11.00
F3	4.715	4.709	4.721	4.715	0.48	9.73
F4	4.779	4.764	4.780	4.774	0.53	9.07
F5	3.875	3.873	3.875	3.874	0.45	8.70
F6	3.462	3.456	3.470	3.463	0.53	6.58
F7	3.510	3.507	3.518	3.512	0.55	6.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-26 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Total Carbon (%)				TKN (%)	C/N ratio
	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3.884	3.867	3.743	3.831	1.07	3.57
W2	2.955	3.069	3.024	3.016	0.42	7.26
W3	3.213	3.263	3.171	3.216	0.48	6.76
W4	3.651	3.547	3.622	3.607	0.61	5.90
W5	2.477	2.364	2.450	2.430	0.14	17.36
W6	2.025	2.051	2.044	2.040	0.20	10.17
W7	2.160	2.192	2.155	2.169	0.22	9.68
P1	4.592	4.517	4.494	4.534	0.39	11.71
P2	3.541	3.533	3.520	3.531	0.15	23.65
P3	3.603	3.596	3.611	3.603	0.21	17.55
P4	3.395	3.408	3.402	3.402	0.25	13.75
P5	2.254	2.296	2.195	2.248	0.23	9.64
P6	2.496	2.467	2.371	2.445	0.28	8.73
P7	2.940	2.992	2.899	2.944	0.32	9.28
F1	6.070	6.033	6.047	6.050	1.49	4.06
F2	3.548	3.516	3.524	3.529	0.17	20.44
F3	4.613	4.662	4.730	4.668	0.41	11.37
F4	4.498	4.509	4.515	4.507	0.49	9.20
F5	3.722	3.750	3.761	3.744	0.70	5.31
F6	3.360	3.385	3.362	3.369	0.76	4.46
F7	3.394	3.408	3.405	3.402	0.80	4.24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-27 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Total Carbon (%)				TKN (%)	C/N ratio
	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3.790	3.795	3.786	3.790	1.07	3.53
W2	2.985	2.970	2.982	2.979	0.42	7.17
W3	3.164	3.159	3.160	3.161	0.48	6.64
W4	3.428	3.415	3.425	3.423	0.61	5.60
W5	2.233	2.240	2.215	2.229	0.14	15.92
W6	1.996	2.011	1.990	1.999	0.20	9.96
W7	2.035	2.086	2.117	2.079	0.22	9.28
P1	4.357	4.322	4.350	4.343	0.39	11.21
P2	3.114	3.126	3.128	3.123	0.15	20.91
P3	3.471	3.418	3.391	3.427	0.21	16.69
P4	3.159	3.203	3.124	3.162	0.25	12.78
P5	2.063	2.015	2.010	2.029	0.23	8.70
P6	2.235	2.242	2.215	2.231	0.28	7.97
P7	2.517	2.601	2.580	2.566	0.32	8.09
F1	5.506	5.505	5.510	5.507	1.49	3.70
F2	3.384	3.380	3.405	3.390	0.17	19.63
F3	4.431	4.430	4.428	4.430	0.41	10.79
F4	4.229	4.230	4.230	4.230	0.49	8.63
F5	3.585	3.591	3.589	3.588	0.70	5.09
F6	3.302	3.295	3.297	3.298	0.76	4.36
F7	3.288	3.286	3.285	3.286	0.80	4.09

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-28 ปริมาณคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำสกัดชีวภาพ วันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Total Carbon (%)				TKN (%)	C/N ratio
	1	2	3	เฉลี่ย		
W1	3.690	4.107	3.743	3.847	1.07	3.58
W2	2.867	3.118	2.905	2.963	0.42	7.13
W3	3.031	3.263	3.058	3.117	0.48	6.55
W4	3.213	3.614	3.258	3.362	0.61	5.50
W5	1.830	2.046	1.852	1.909	0.14	13.64
W6	1.852	2.164	1.884	1.967	0.20	9.80
W7	1.576	1.864	1.604	1.681	0.22	7.51
P1	3.745	4.039	3.740	3.841	0.39	9.92
P2	2.965	3.238	2.983	3.062	0.15	20.50
P3	3.003	3.131	3.023	3.052	0.21	14.87
P4	3.198	3.217	3.230	3.215	0.25	13.00
P5	1.544	1.697	1.595	1.612	0.23	6.91
P6	1.699	1.760	1.711	1.723	0.28	6.15
P7	2.084	2.021	1.994	2.033	0.32	6.41
F1	5.047	5.003	5.065	5.038	1.49	3.38
F2	2.942	2.892	2.962	2.932	0.17	16.98
F3	4.314	4.362	4.337	4.338	0.41	10.56
F4	4.007	4.024	4.028	4.020	0.49	8.20
F5	3.617	3.645	3.510	3.591	0.70	5.10
F6	3.202	3.130	3.267	3.200	0.76	4.23
F7	3.247	3.245	3.148	3.213	0.80	4.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-29 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (dS/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
W1	3.10	3.10	3.10	3.10
W2	3.70	3.70	3.70	3.70
W3	4.10	4.10	4.15	4.12
W4	4.30	4.30	4.30	4.30
W5	5.30	5.30	5.30	5.30
W6	6.00	6.05	6.00	6.02
W7	6.40	6.40	6.40	6.40
P1	4.00	4.05	4.00	4.02
P2	1.80	1.80	1.80	1.80
P3	4.40	4.40	4.40	4.40
P4	2.30	2.30	2.30	2.30
P5	4.30	4.30	4.30	4.30
P6	1.20	1.10	1.10	1.13
P7	3.20	3.20	3.20	3.20
F1	0.95	1.00	1.00	0.98
F2	1.10	1.10	1.10	1.10
F3	4.00	4.00	4.00	4.00
F4	4.10	4.10	4.10	4.10
F5	10.90	10.90	10.90	10.90
F6	9.50	9.50	9.50	9.50
F7	9.80	9.80	9.80	9.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-30 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (dS/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
W1	1.70	1.70	1.70	1.70
W2	1.50	1.55	1.50	1.52
W3	1.50	1.50	1.50	1.50
W4	2.00	2.00	2.05	2.02
W5	1.90	1.90	1.90	1.90
W6	1.20	1.20	1.20	1.20
W7	0.80	0.80	0.80	0.80
P1	4.70	4.70	4.75	4.72
P2	4.60	4.60	4.60	4.60
P3	4.10	4.10	4.10	4.10
P4	4.90	4.90	4.90	4.90
P5	4.80	4.80	4.80	4.80
P6	5.30	5.30	5.30	5.30
P7	6.10	6.10	6.10	6.10
F1	1.00	1.00	1.00	1.00
F2	1.10	1.10	1.10	1.10
F3	2.30	2.30	2.30	2.30
F4	0.60	0.60	0.60	0.60
F5	1.00	1.05	1.05	1.03
F6	0.40	0.40	0.40	0.40
F7	0.50	0.50	0.50	0.50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-31 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (dS/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
W1	3.40	3.40	3.40	3.40
W2	5.70	5.70	5.70	5.70
W3	6.30	6.30	6.25	6.28
W4	6.00	6.00	6.00	6.00
W5	12.50	12.45	12.50	12.48
W6	14.30	14.30	14.30	14.30
W7	14.35	14.30	14.30	14.32
P1	3.10	3.10	3.10	3.10
P2	2.60	2.60	2.60	2.60
P3	2.50	2.55	2.50	2.52
P4	2.30	2.30	2.30	2.30
P5	2.20	2.20	2.20	2.20
P6	1.80	1.80	1.80	1.80
P7	1.80	1.80	1.70	1.77
F1	1.20	1.20	1.20	1.20
F2	0.30	0.30	0.30	0.30
F3	0.20	0.10	0.10	0.13
F4	0.60	0.60	0.60	0.60
F5	1.30	1.30	1.30	1.30
F6	0.60	0.60	0.60	0.60
F7	0.50	0.50	0.50	0.50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-32 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (dS/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
W1	0.70	0.70	0.70	0.70
W2	1.50	1.50	1.50	1.50
W3	2.00	2.05	2.00	2.02
W4	2.30	2.30	2.30	2.30
W5	7.90	7.90	7.90	7.90
W6	8.70	8.70	8.70	8.70
W7	6.70	6.70	6.75	6.72
P1	5.70	5.70	5.70	5.70
P2	3.50	3.50	3.50	3.50
P3	3.50	3.50	3.60	3.53
P4	3.70	3.70	3.70	3.70
P5	3.60	3.60	3.60	3.60
P6	4.10	4.15	4.10	4.12
P7	4.70	4.70	4.70	4.70
F1	8.50	8.50	8.50	8.50
F2	7.70	7.70	7.70	7.70
F3	5.40	5.40	5.40	5.40
F4	5.80	5.80	5.80	5.80
F5	5.70	5.70	5.70	5.70
F6	6.00	6.05	6.00	6.02
F7	6.20	6.20	6.20	6.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-33 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (dS/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
W1	3.40	3.40	3.40	3.40
W2	5.70	5.70	5.70	5.70
W3	6.30	6.30	6.30	6.30
W4	6.00	6.00	6.05	6.02
W5	12.50	12.50	12.50	12.50
W6	14.30	14.30	14.30	14.30
W7	14.30	14.40	14.30	14.33
P1	8.50	8.50	8.50	8.50
P2	4.30	4.30	4.30	4.30
P3	4.70	4.70	4.65	4.68
P4	6.60	6.60	6.60	6.60
P5	7.80	7.80	7.80	7.80
P6	8.60	8.60	8.60	8.60
P7	10.00	10.10	10.00	10.03
F1	16.20	16.20	16.20	16.20
F2	14.20	14.20	14.20	14.20
F3	13.50	13.55	13.50	13.52
F4	11.10	11.10	11.10	11.10
F5	9.60	9.60	9.60	9.60
F6	10.10	10.10	10.20	10.13
F7	12.40	12.40	12.40	12.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-34 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	1	2.2	100	2.17	100	100.00
	2	2.2	100			
	3	2.3	100			
	4	2.0	100			
W1	1	2.2	100	2.12	100	97.81
	2	2.0	100			
	3	2.2	100			
	4	2.0	100			
W2	1	1.6	100	1.79	100	82.58
	2	1.9	100			
	3	1.9	100			
	4	1.8	100			
W3	1	2.0	100	1.99	100	91.81
	2	1.9	100			
	3	2.0	100			
	4	2.0	100			
W4	1	2.0	100	2.04	100	94.12
	2	2.1	100			
	3	2.1	100			
	4	2.0	100			
W5	1	2.1	100	2.26	100	104.04
	2	2.4	100			
	3	2.1	100			
	4	2.4	100			
W6	1	1.8	100	2.22	100	102.54
	2	2.6	100			
	3	2.2	100			
	4	2.3	100			
W7	1	1.7	100	1.84	100	84.66
	2	1.9	100			
	3	1.8	100			
	4	1.9	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-34 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P1	1	2.4	100	2.30	100	106.11
	2	2.2	100			
	3	2.3	100			
	4	2.3	100			
P2	1	1.3	100	1.82	100	83.74
	2	2.3	100			
	3	1.9	100			
	4	1.8	100			
P3	1	2.6	100	2.38	100	109.80
	2	2.2	100			
	3	2.4	100			
	4	2.4	100			
P4	1	2.3	100	2.42	100	111.65
	2	2.6	100			
	3	2.5	100			
	4	2.3	100			
P5	1	1.8	100	2.14	100	98.50
	2	2.5	100			
	3	2.1	100			
	4	2.2	100			
P6	1	2.3	100	2.68	100	123.41
	2	3.1	100			
	3	2.5	100			
	4	2.9	100			
P7	1	2.9	100	2.66	100	122.49
	2	2.5	100			
	3	2.7	100			
	4	2.6	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-34 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 30 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F1	1	2.3	100	2.32	100	106.81
	2	2.4	100			
	3	2.3	100			
	4	2.3	100			
F2	1	1.8	100	1.80	100	82.81
	2	1.8	100			
	3	1.9	100			
	4	1.7	100			
F3	1	2.2	100	1.86	100	85.81
	2	1.7	100			
	3	1.6	100			
	4	2.0	100			
F4	1	2.8	100	2.59	100	119.49
	2	2.7	100			
	3	2.4	100			
	4	2.5	100			
F5	1	2.1	100	2.55	100	117.42
	2	3.0	100			
	3	2.3	100			
	4	2.7	100			
F6	1	2.1	100	2.43	100	111.88
	2	2.8	100			
	3	2.2	100			
	4	2.6	100			
F7	1	2.2	100	2.19	100	100.81
	2	2.2	100			
	3	2.2	100			
	4	2.2	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-35 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	1	3.3	100	3.13	100	100.00
	2	3.0	100			
	3	3.1	100			
	4	3.1	100			
W1	1	3.0	100	3.07	100	98.08
	2	2.9	100			
	3	3.1	100			
	4	3.3	100			
W2	1	2.4	100	2.60	100	83.20
	2	2.7	100			
	3	2.7	100			
	4	2.5	100			
W3	1	2.6	100	2.89	100	92.32
	2	3.0	100			
	3	2.9	100			
	4	3.1	100			
W4	1	3.1	100	2.98	100	95.28
	2	3.1	100			
	3	3.1	100			
	4	2.6	100			
W5	1	3.3	100	3.25	100	103.92
	2	3.2	100			
	3	3.4	100			
	4	3.0	100			
W6	1	3.2	100	3.20	100	102.40
	2	3.1	100			
	3	3.3	100			
	4	3.2	100			
W7	1	2.7	100	2.68	100	85.76
	2	2.8	100			
	3	2.4	100			
	4	2.8	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-35 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P1	1	3.5	100	3.35	100	107.28
	2	3.2	100			
	3	3.2	100			
	4	3.6	100			
P2	1	2.3	100	2.65	100	84.64
	2	2.9	100			
	3	2.7	100			
	4	2.7	100			
P3	1	3.2	100	3.44	100	110.16
	2	3.4	100			
	3	3.6	100			
	4	3.6	100			
P4	1	3.5	100	3.53	100	112.88
	2	3.6	100			
	3	3.7	100			
	4	3.4	100			
P5	1	3.6	100	3.11	100	99.36
	2	3.1	100			
	3	2.8	100			
	4	3.0	100			
P6	1	3.7	100	3.90	100	124.80
	2	4.0	100			
	3	3.9	100			
	4	4.1	100			
P7	1	4.0	100	3.89	100	124.48
	2	4.0	100			
	3	3.8	100			
	4	3.8	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-35 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 45 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F1	1	3.4	100	3.39	100	108.48
	2	3.2	100			
	3	3.6	100			
	4	3.4	100			
F2	1	2.6	100	2.64	100	84.48
	2	2.6	100			
	3	2.6	100			
	4	2.7	100			
F3	1	2.5	100	2.73	100	87.36
	2	2.9	100			
	3	2.7	100			
	4	2.8	100			
F4	1	3.7	100	3.82	100	122.32
	2	3.9	100			
	3	3.7	100			
	4	4.0	100			
F5	1	3.6	100	3.74	100	119.60
	2	3.7	100			
	3	3.8	100			
	4	3.8	100			
F6	1	3.6	100	3.59	100	114.80
	2	3.5	100			
	3	3.5	100			
	4	3.8	100			
F7	1	3.2	100	3.24	100	103.60
	2	3.1	100			
	3	3.2	100			
	4	3.4	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-36 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	1	2.7	100	2.79	100	100.00
	2	3.0	100			
	3	2.6	100			
	4	2.8	100			
W1	1	2.8	100	2.76	100	98.92
	2	2.6	100			
	3	2.9	100			
	4	2.8	100			
W2	1	2.4	100	2.36	100	84.74
	2	2.6	100			
	3	2.3	100			
	4	2.2	100			
W3	1	2.6	100	2.62	100	93.90
	2	2.6	100			
	3	2.7	100			
	4	2.5	100			
W4	1	2.7	100	2.67	100	95.78
	2	2.6	100			
	3	2.8	100			
	4	2.6	100			
W5	1	2.9	100	2.92	100	104.67
	2	2.9	100			
	3	2.9	100			
	4	2.9	100			
W6	1	2.8	100	2.89	100	103.68
	2	2.9	100			
	3	3.0	100			
	4	2.9	100			
W7	1	2.3	100	2.43	100	87.16
	2	2.5	100			
	3	2.5	100			
	4	2.4	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-36 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P1	1	2.8	100	3.01	100	108.17
	2	3.3	100			
	3	3.0	100			
	4	2.9	100			
P2	1	2.6	100	2.38	100	85.46
	2	2.1	100			
	3	2.4	100			
	4	2.4	100			
P3	1	2.8	100	3.10	100	111.40
	2	3.0	100			
	3	3.5	100			
	4	3.1	100			
P4	1	3.1	100	3.18	100	114.18
	2	3.3	100			
	3	3.0	100			
	4	3.4	100			
P5	1	2.8	100	2.84	100	101.80
	2	2.7	100			
	3	3.1	100			
	4	2.8	100			
P6	1	3.3	100	3.50	100	125.58
	2	3.7	100			
	3	3.2	100			
	4	3.9	100			
P7	1	3.5	100	3.52	100	126.30
	2	3.5	100			
	3	3.5	100			
	4	3.6	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-36 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 60 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F1	1	3.2	100	3.06	100	*109.78*
	2	2.9	100			
	3	2.8	100			
	4	3.4	100			
F2	1	2.1	100	2.39	100	*85.91*
	2	2.6	100			
	3	2.2	100			
	4	2.6	100			
F3	1	2.1	100	2.50	100	*89.68*
	2	2.8	100			
	3	2.4	100			
	4	2.7	100			
F4	1	3.5	100	3.48	100	*124.78*
	2	3.4	100			
	3	3.4	100			
	4	3.5	100			
F5	1	3.3	100	3.41	100	*122.26*
	2	3.4	100			
	3	3.6	100			
	4	3.4	100			
F6	1	3.3	100	3.25	100	*116.52*
	2	2.9	100			
	3	3.7	100			
	4	3.2	100			
F7	1	2.9	100	2.96	100	*106.10*
	2	2.9	100			
	3	2.8	100			
	4	3.2	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-37 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	1	2.2	100	2.20	100	100.00
	2	2.3	100			
	3	2.1	100			
	4	2.2	100			
W1	1	2.2	100	2.19	100	99.66
	2	2.1	100			
	3	2.3	100			
	4	2.1	100			
W2	1	1.8	100	1.87	100	84.87
	2	1.9	100			
	3	2.0	100			
	4	1.8	100			
W3	1	2.2	100	2.07	100	94.20
	2	2.1	100			
	3	2.1	100			
	4	2.0	100			
W4	1	2.0	100	2.12	100	96.36
	2	2.3	100			
	3	2.1	100			
	4	2.1	100			
W5	1	2.2	100	2.31	100	105.23
	2	2.4	100			
	3	2.2	100			
	4	2.4	100			
W6	1	2.1	100	2.31	100	105.12
	2	2.6	100			
	3	2.2	100			
	4	2.3	100			
W7	1	1.8	100	1.95	100	88.62
	2	2.1	100			
	3	2.0	100			
	4	2.0	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-37 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P1	1	2.6	100	2.40	100	109.33
	2	2.3	100			
	3	2.4	100			
	4	2.3	100			
P2	1	1.7	100	1.91	100	86.69
	2	2.3	100			
	3	1.9	100			
	4	1.8	100			
P3	1	2.6	100	2.49	100	113.31
	2	2.3	100			
	3	2.3	100			
	4	2.7	100			
P4	1	2.7	100	2.56	100	116.27
	2	2.6	100			
	3	2.5	100			
	4	2.4	100			
P5	1	2.1	100	2.25	100	102.50
	2	2.4	100			
	3	2.1	100			
	4	2.4	100			
P6	1	2.6	100	2.78	100	126.39
	2	3.1	100			
	3	2.6	100			
	4	2.9	100			
P7	1	3.2	100	2.83	100	128.78
	2	2.7	100			
	3	2.8	100			
	4	2.7	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-37 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 75 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F1	1	2.3	100	2.45	100	111.60
	2	2.5	100			
	3	2.3	100			
	4	2.7	100			
F2	1	1.8	100	1.94	100	88.05
	2	2.3	100			
	3	1.9	100			
	4	1.8	100			
F3	1	2.2	100	2.03	100	92.49
	2	1.8	100			
	3	2.2	100			
	4	2.0	100			
F4	1	2.9	100	2.77	100	126.05
	2	2.7	100			
	3	2.8	100			
	4	2.7	100			
F5	1	2.7	100	2.77	100	125.82
	2	3.0	100			
	3	2.6	100			
	4	2.8	100			
F6	1	2.6	100	2.62	100	119.31
	2	2.8	100			
	3	2.4	100			
	4	2.7	100			
F7	1	2.4	100	2.39	100	108.87
	2	2.3	100			
	3	2.4	100			
	4	2.4	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-38 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	1	3.3	100	3.16	100	100.00
	2	2.9	100			
	3	3.2	100			
	4	3.2	100			
W1	1	3.2	100	3.20	100	101.27
	2	3.0	100			
	3	3.3	100			
	4	3.2	100			
W2	1	2.8	100	2.69	100	85.19
	2	2.7	100			
	3	2.6	100			
	4	2.7	100			
W3	1	3.2	100	3.04	100	96.12
	2	2.8	100			
	3	3.0	100			
	4	3.1	100			
W4	1	2.9	100	3.08	100	97.62
	2	3.3	100			
	3	3.0	100			
	4	3.1	100			
W5	1	3.2	100	3.39	100	107.28
	2	3.6	100			
	3	3.3	100			
	4	3.5	100			
W6	1	3.3	100	3.36	100	106.49
	2	3.5	100			
	3	3.2	100			
	4	3.4	100			
W7	1	2.7	100	2.82	100	89.39
	2	2.9	100			
	3	2.8	100			
	4	2.9	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-38 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P1	1	3.7	100	3.50	100	110.77
	2	3.4	100			
	3	3.5	100			
	4	3.4	100			
P2	1	2.5	100	2.78	100	88.12
	2	3.0	100			
	3	2.9	100			
	4	2.8	100			
P3	1	3.8	100	3.59	100	113.54
	2	3.5	100			
	3	3.4	100			
	4	3.6	100			
P4	1	3.6	100	3.74	100	118.53
	2	3.8	100			
	3	4.0	100			
	4	3.6	100			
P5	1	3.1	100	3.26	100	103.17
	2	3.4	100			
	3	3.3	100			
	4	3.2	100			
P6	1	4.0	100	4.07	100	128.87
	2	4.2	100			
	3	3.9	100			
	4	4.2	100			
P7	1	4.3	100	4.10	100	129.73
	2	4.0	100			
	3	4.2	100			
	4	3.9	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-38 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของน้ำสกัดชีวภาพวันที่ 90 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความยาวราก (cm)	ความงอก (%)	ความยาวราก เฉลี่ย (cm)	ความงอก เฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F1	1	3.8	100	3.55	100	112.27
	2	3.6	100			
	3	3.4	100			
	4	3.5	100			
F2	1	2.8	100	2.84	100	89.82
	2	2.8	100			
	3	3.0	100			
	4	2.7	100			
F3	1	3.1	100	3.00	100	95.14
	2	3.0	100			
	3	2.9	100			
	4	3.0	100			
F4	1	4.3	100	4.09	100	129.53
	2	4.0	100			
	3	3.9	100			
	4	4.2	100			
F5	1	3.8	100	4.07	100	128.74
	2	4.3	100			
	3	4.2	100			
	4	3.9	100			
F6	1	3.8	100	3.88	100	122.72
	2	4.1	100			
	3	3.7	100			
	4	3.9	100			
F7	1	3.5	100	3.47	100	109.74
	2	3.7	100			
	3	3.4	100			
	4	3.3	100			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-39 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 30 ของการหมัก

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	-	3.16	100	100
W1	1:100	3.76	100	119.00
	1:250	8.93	100	282.90
	1:500	4.68	100	148.30
	1:750	4.10	100	129.77
	1:1000	3.61	100	114.33
W2	1:100	3.96	100	125.34
	1:250	9.19	100	290.97
	1:500	5.57	100	176.48
	1:750	4.36	100	137.93
	1:1000	3.28	100	103.72
W3	1:100	3.72	100	117.74
	1:250	8.84	100	279.81
	1:500	5.23	100	165.56
	1:750	4.83	100	152.81
	1:1000	3.46	100	109.58
W4	1:100	3.40	100	107.68
	1:250	8.08	100	255.74
	1:500	5.14	100	162.63
	1:750	4.69	100	148.54
	1:1000	3.67	100	116.31
W5	1:100	3.37	100	106.73
	1:250	8.55	100	270.63
	1:500	4.49	100	142.28
	1:750	4.22	100	133.65
	1:1000	3.51	100	111.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-39 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 30 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
W6	1:100	3.23	100	102.30
	1:250	8.01	100	253.76
	1:500	4.31	100	136.58
	1:750	4.49	100	142.12
	1:1000	3.28	100	101.21
W7	1:100	3.18	100	100.63
	1:250	8.49	100	268.88
	1:500	4.18	100	132.38
	1:750	4.25	100	134.52
	1:1000	3.21	100	101.66
P1	1:100	7.18	100	227.40
	1:250	10.08	100	319.08
	1:500	5.61	100	177.59
	1:750	5.27	100	166.75
	1:1000	2.74	100	86.70
P2	1:100	7.10	100	224.70
	1:250	10.05	100	318.13
	1:500	5.84	100	185.04
	1:750	4.54	100	143.78
	1:1000	2.64	98	81.52
P3	1:100	6.36	100	201.27
	1:250	9.81	100	310.77
	1:500	5.32	100	168.49
	1:750	5.07	100	160.49
	1:1000	2.99	100	94.62
P4	1:100	6.08	100	192.64
	1:250	9.97	100	315.76
	1:500	5.52	100	174.90
	1:750	4.57	100	144.73
	1:1000	2.77	100	85.46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-39 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 30 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P5	1:100	6.47	100	204.91
	1:250	10.30	100	326.29
	1:500	5.61	100	177.51
	1:750	4.24	100	134.36
	1:1000	3.11	100	98.57
P6	1:100	5.38	100	170.31
	1:250	10.24	100	324.15
	1:500	5.38	100	170.47
	1:750	3.66	100	115.84
	1:1000	2.45	100	77.43
P7	1:100	6.17	100	195.41
	1:250	9.98	100	315.91
	1:500	5.63	100	178.23
	1:750	3.56	100	112.75
	1:1000	2.62	100	82.98
F1	1:100	3.76	100	119.00
	1:250	8.93	100	282.90
	1:500	4.68	100	148.30
	1:750	4.10	100	129.85
	1:1000	3.61	100	114.33
F2	1:100	3.96	100	125.26
	1:250	9.19	100	290.97
	1:500	5.57	100	176.48
	1:750	4.36	100	137.93
	1:1000	3.28	100	103.72
F3	1:100	3.72	100	117.66
	1:250	8.84	100	279.81
	1:500	5.23	100	165.56
	1:750	4.83	100	152.81
	1:1000	3.46	100	109.58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-39 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 30 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F4	1:100	3.40	100	107.68
	1:250	8.07	100	255.66
	1:500	5.14	100	162.63
	1:750	4.69	100	148.54
	1:1000	3.67	100	116.31
F5	1:100	3.37	100	106.73
	1:250	8.55	100	270.63
	1:500	4.49	100	142.28
	1:750	4.22	100	133.73
	1:1000	3.51	100	111.01
F6	1:100	3.23	100	102.30
	1:250	8.02	100	253.84
	1:500	4.31	100	136.58
	1:750	4.49	100	142.12
	1:1000	3.20	100	101.19
F7	1:100	3.18	100	100.55
	1:250	8.49	100	268.88
	1:500	4.18	100	1.32.38
	1:750	4.25	100	134.52
	1:1000	3.38	95	101.69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-40 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 45 ของการหมัก

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	-	3.13	100	100.00
W1	1:100	3.80	100	121.44
	1:250	8.86	100	283.60
	1:500	4.66	100	149.04
	1:750	4.08	100	130.48
	1:1000	3.61	100	115.60
W2	1:100	3.94	100	126.08
	1:250	9.12	100	291.68
	1:500	5.55	100	177.60
	1:750	4.33	100	138.40
	1:1000	3.26	100	104.32
W3	1:100	3.70	100	118.40
	1:250	8.76	100	280.32
	1:500	5.20	100	166.40
	1:750	4.80	100	153.44
	1:1000	3.44	100	110.00
W4	1:100	3.38	100	108.16
	1:250	8.01	100	256.24
	1:500	5.11	100	163.60
	1:750	4.66	100	149.04
	1:1000	3.67	100	117.44
W5	1:100	3.35	100	107.28
	1:250	8.48	100	271.20
	1:500	4.49	100	143.60
	1:750	4.20	100	134.48
	1:1000	3.49	100	111.68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-40 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 45 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
W6	1:100	3.24	100	103.52
	1:250	7.94	100	254.08
	1:500	4.30	100	137.60
	1:750	4.46	100	142.80
	1:1000	3.27	100	102.10
W7	1:100	3.18	100	101.60
	1:250	8.41	100	269.12
	1:500	4.15	100	132.80
	1:750	4.22	100	135.04
	1:1000	3.19	100	102.00
P1	1:100	7.13	100	228.08
	1:250	10.00	100	319.92
	1:500	5.57	100	178.16
	1:750	5.23	100	167.20
	1:1000	2.72	100	87.12
P2	1:100	7.04	100	225.20
	1:250	9.96	100	318.72
	1:500	5.80	100	185.52
	1:750	4.52	100	144.48
	1:1000	2.63	100	81.98
P3	1:100	6.31	100	202.00
	1:250	9.74	100	311.52
	1:500	5.28	100	168.88
	1:750	5.04	100	161.28
	1:1000	2.98	100	95.28
P4	1:100	6.05	100	193.52
	1:250	9.90	100	316.64
	1:500	5.48	100	175.28
	1:750	4.54	100	145.12
	1:1000	2.76	98	86.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-40 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 45 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P5	1:100	6.42	100	205.52
	1:250	10.22	100	327.12
	1:500	5.57	100	178.08
	1:750	4.22	100	134.88
	1:1000	3.10	100	99.04
P6	1:100	5.35	100	171.12
	1:250	10.17	100	325.28
	1:500	5.35	100	171.20
	1:750	3.64	100	116.32
	1:1000	2.45	100	78.48
P7	1:100	6.13	100	196.08
	1:250	9.88	100	316.24
	1:500	5.59	100	178.80
	1:750	3.55	100	113.52
	1:1000	2.62	100	83.68
F1	1:100	3.74	100	119.60
	1:250	8.86	100	283.44
	1:500	4.65	100	148.72
	1:750	4.08	100	130.48
	1:1000	3.59	100	114.88
F2	1:100	3.94	100	125.92
	1:250	9.11	100	291.60
	1:500	5.54	100	177.12
	1:750	4.33	100	138.48
	1:1000	3.26	100	104.32
F3	1:100	3.70	100	118.18
	1:250	8.77	100	280.48
	1:500	5.20	100	166.32
	1:750	4.79	100	153.28
	1:1000	3.44	100	110.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-40 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ วันที่ 45 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F4	1:100	3.39	100	108.40
	1:250	8.01	100	256.40
	1:500	5.11	100	163.44
	1:750	4.66	100	149.20
	1:1000	3.65	100	116.88
F5	1:100	3.36	100	107.36
	1:250	8.49	100	271.68
	1:500	4.46	100	142.80
	1:750	4.20	100	134.48
	1:1000	3.49	100	111.68
F6	1:100	3.21	100	102.80
	1:250	7.95	100	254.48
	1:500	4.30	100	137.52
	1:750	4.46	100	142.72
	1:1000	3.18	100	101.84
F7	1:100	3.17	100	101.52
	1:250	8.42	100	269.44
	1:500	4.16	100	133.04
	1:750	4.23	100	135.28
	1:1000	3.37	95	102.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-41 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 60 ของการหมัก

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	-	2.79	100	100
W1	1:100	3.40	100	122.08
	1:250	7.92	100	284.29
	1:500	4.17	100	149.82
	1:750	3.65	100	130.88
	1:1000	3.24	100	116.16
W2	1:100	3.53	100	126.66
	1:250	8.14	100	292.37
	1:500	4.96	100	178.19
	1:750	3.86	100	138.69
	1:1000	2.92	100	104.94
W3	1:100	3.32	100	119.12
	1:250	7.83	100	281.06
	1:500	4.65	100	167.06
	1:750	4.29	100	145.04
	1:1000	3.08	100	110.59
W4	1:100	3.03	100	108.89
	1:250	7.16	100	256.91
	1:500	4.58	100	164.27
	1:750	4.17	100	149.55
	1:1000	3.30	100	118.31
W5	1:100	3.01	100	107.90
	1:250	7.57	100	271.81
	1:500	4.04	100	144.88
	1:750	3.77	100	135.37
	1:1000	3.13	100	112.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-41 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 60 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
W6	1:100	2.91	100	104.40
	1:250	7.12	100	255.66
	1:500	3.86	100	138.42
	1:750	3.99	100	143.36
	1:1000	2.87	100	102.87
W7	1:100	2.85	100	102.24
	1:250	7.54	100	270.56
	1:500	3.71	100	133.12
	1:750	3.78	100	135.64
	1:1000	2.86	100	102.51
P1	1:100	6.38	100	228.90
	1:250	8.93	100	320.47
	1:500	4.98	100	178.90
	1:750	4.67	100	167.77
	1:1000	2.45	100	87.79
P2	1:100	6.30	100	226.03
	1:250	8.90	100	319.39
	1:500	5.20	100	186.62
	1:750	4.07	100	145.96
	1:1000	2.36	98	82.62
P3	1:100	5.65	100	202.69
	1:250	8.70	100	312.21
	1:500	4.72	100	169.39
	1:750	4.51	100	161.76
	1:1000	2.67	100	95.87
P4	1:100	5.41	100	194.08
	1:250	8.83	100	317.06
	1:500	4.90	100	175.76
	1:750	4.06	100	145.60
	1:1000	2.48	98	86.73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-41 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 60 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P5	1:100	5.74	100	206.19
	1:250	9.13	100	327.92
	1:500	4.98	100	178.82
	1:750	3.77	100	135.46
	1:1000	2.77	100	99.37
P6	1:100	4.78	100	171.63
	1:250	9.08	100	326.03
	1:500	4.78	100	171.72
	1:750	3.26	100	116.88
	1:1000	2.20	100	79.08
P7	1:100	5.48	100	196.77
	1:250	8.82	100	316.70
	1:500	4.99	100	179.26
	1:750	3.18	100	114.00
	1:1000	2.35	100	84.38
F1	1:100	3.35	100	120.29
	1:250	7.90	100	283.75
	1:500	4.16	100	149.37
	1:750	3.65	100	131.06
	1:1000	3.22	100	115.53
F2	1:100	3.53	100	126.57
	1:250	8.14	100	292.19
	1:500	4.95	100	177.83
	1:750	3.88	100	139.14
	1:1000	2.92	100	104.94
F3	1:100	3.32	100	119.12
	1:250	7.83	100	281.06
	1:500	4.65	100	166.88
	1:750	4.29	100	153.86
	1:1000	3.09	100	110.77

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-41 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 60 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F4	1:100	3.03	100	108.80
	1:250	7.16	100	257.00
	1:500	4.58	100	164.54
	1:750	4.17	100	149.82
	1:1000	3.27	100	117.50
F5	1:100	3.01	100	107.90
	1:250	7.59	100	272.44
	1:500	3.99	100	143.36
	1:750	3.77	100	135.19
	1:1000	3.13	100	112.39
F6	1:100	2.88	100	103.32
	1:250	7.11	100	255.30
	1:500	3.84	100	137.88
	1:750	4.00	100	143.54
	1:1000	2.86	100	102.51
F7	1:100	2.85	100	102.42
	1:250	7.53	100	270.47
	1:500	3.72	100	133.57
	1:750	3.79	100	136.00
	1:1000	3.02	95	103.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-42 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 75 ของการหมัก

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	-	2.20	100	100
W1	1:100	2.71	100	123.49
	1:250	6.26	100	284.98
	1:500	3.31	100	150.40
	1:750	2.89	100	131.29
	1:1000	2.57	100	116.89
W2	1:100	2.80	100	127.19
	1:250	6.45	100	293.29
	1:500	3.93	100	178.84
	1:750	3.06	100	139.36
	1:1000	2.31	100	105.29
W3	1:100	2.64	100	119.91
	1:250	6.19	100	281.80
	1:500	3.69	100	167.92
	1:750	3.41	100	155.06
	1:1000	2.44	100	111.15
W4	1:100	2.41	100	109.44
	1:250	5.66	100	257.39
	1:500	3.62	100	164.85
	1:750	3.30	100	150.28
	1:1000	2.63	100	119.45
W5	1:100	2.38	100	108.19
	1:250	5.98	100	272.01
	1:500	3.20	100	145.62
	1:750	3.00	100	136.29
	1:1000	2.48	100	112.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-42 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 75 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
W6	1:100	2.31	100	105.01
	1:250	5.63	100	256.20
	1:500	3.07	100	139.48
	1:750	3.18	100	144.60
	1:1000	2.32	98	103.05
W7	1:100	2.26	100	102.90
	1:250	5.97	100	271.44
	1:500	2.95	100	134.36
	1:750	2.99	100	136.18
	1:1000	2.28	100	103.64
P1	1:100	5.04	100	229.29
	1:250	7.06	100	321.27
	1:500	3.94	100	179.41
	1:750	3.70	100	168.37
	1:1000	1.94	100	88.28
P2	1:100	4.98	100	226.79
	1:250	7.04	100	320.19
	1:500	4.12	100	187.26
	1:750	3.22	100	146.64
	1:1000	1.87	98	83.08
P3	1:100	4.47	100	203.53
	1:250	6.88	100	313.28
	1:500	3.73	100	169.80
	1:750	3.57	100	162.40
	1:1000	2.12	100	96.36
P4	1:100	4.28	100	194.77
	1:250	6.98	100	317.75
	1:500	3.87	100	176.22
	1:750	3.21	100	146.19
	1:1000	1.97	98	87.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-42 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 75 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P5	1:100	4.54	100	206.71
	1:250	7.22	100	328.33
	1:500	3.94	100	179.41
	1:750	2.99	100	136.01
	1:1000	2.20	100	100.23
P6	1:100	3.79	100	172.47
	1:250	7.18	100	326.73
	1:500	3.79	100	172.47
	1:750	2.58	100	117.18
	1:1000	1.75	100	79.75
P7	1:100	4.34	100	197.50
	1:250	6.97	100	316.95
	1:500	3.95	100	179.86
	1:750	2.52	100	114.56
	1:1000	1.87	100	84.87
F1	1:100	2.66	100	120.82
	1:250	6.25	100	284.19
	1:500	3.30	100	149.94
	1:750	2.90	100	131.74
	1:1000	2.55	100	116.10
F2	1:100	2.79	100	127.08
	1:250	6.43	100	292.72
	1:500	3.92	100	178.50
	1:750	3.07	100	139.82
	1:1000	2.32	100	105.57
F3	1:100	2.63	100	119.80
	1:250	6.20	100	281.91
	1:500	3.75	100	170.53
	1:750	3.39	100	154.38
	1:1000	2.45	100	111.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-42 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 75 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F4	1:100	2.41	100	109.56
	1:250	5.66	100	257.57
	1:500	3.63	100	165.07
	1:750	3.31	100	150.63
	1:1000	2.60	100	118.20
F5	1:100	2.39	100	108.53
	1:250	6.00	100	273.09
	1:500	3.17	100	144.03
	1:750	2.99	100	135.84
	1:1000	2.49	100	113.08
F6	1:100	2.28	100	103.87
	1:250	5.62	100	255.86
	1:500	3.04	100	138.40
	1:750	3.17	100	144.03
	1:1000	2.27	100	103.41
F7	1:100	2.26	100	102.73
	1:250	5.96	100	271.33
	1:500	2.95	100	134.30
	1:750	3.00	100	136.69
	1:1000	2.40	95	103.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-43 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 90 ของการหมัก

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
Blank	-	3.16	100	100
W1	1:100	3.91	100	123.83
	1:250	9.02	100	285.67
	1:500	4.77	100	151.07
	1:750	4.17	100	131.99
	1:1000	3.71	100	117.42
W2	1:100	4.04	100	127.79
	1:250	9.28	100	293.90
	1:500	5.66	100	179.33
	1:750	4.42	100	139.90
	1:1000	3.34	100	105.78
W3	1:100	3.80	100	120.27
	1:250	8.91	100	282.19
	1:500	5.31	100	168.09
	1:750	4.92	100	155.74
	1:1000	3.53	100	111.88
W4	1:100	3.47	100	109.98
	1:250	8.15	100	258.04
	1:500	5.23	100	165.48
	1:750	4.79	100	151.54
	1:1000	3.79	100	119.95
W5	1:100	3.46	100	109.42
	1:250	8.61	100	272.53
	1:500	4.62	100	146.40
	1:750	4.32	100	136.90
	1:1000	3.58	100	113.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-43 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 90 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
W6	1:100	3.37	100	106.57
	1:250	8.11	100	256.77
	1:500	4.42	100	139.90
	1:750	4.59	100	145.29
	1:1000	3.38	100	104.37
W7	1:100	3.27	100	103.40
	1:250	8.60	100	272.45
	1:500	4.29	100	135.71
	1:750	4.32	100	136.82
	1:1000	3.29	100	104.20
P1	1:100	7.26	100	230.01
	1:250	10.16	100	321.77
	1:500	5.68	100	179.97
	1:750	5.33	100	168.88
	1:1000	2.81	100	88.92
P2	1:100	7.18	100	227.32
	1:250	10.13	100	320.90
	1:500	5.98	100	189.23
	1:750	4.65	100	147.11
	1:1000	2.71	98	83.68
P3	1:100	6.45	100	204.20
	1:250	9.91	100	313.70
	1:500	5.37	100	170.07
	1:750	5.14	100	162.87
	1:1000	3.06	100	96.99
P4	1:100	6.17	100	195.41
	1:250	10.06	100	318.53
	1:500	5.59	100	176.88
	1:750	4.63	100	146.71
	1:1000	2.85	98	87.93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-43 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 90 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
P5	1:100	6.55	100	207.28
	1:250	10.39	100	328.98
	1:500	5.68	100	179.81
	1:750	4.31	100	136.50
	1:1000	3.18	100	100.79
P6	1:100	5.47	100	173.24
	1:250	10.34	100	327.47
	1:500	5.47	100	173.24
	1:750	3.72	100	117.66
	1:1000	2.54	100	80.29
P7	1:100	6.26	100	198.26
	1:250	10.04	100	317.81
	1:500	5.70	100	180.36
	1:750	3.64	100	115.20
	1:1000	2.69	100	85.19
F1	1:100	3.84	100	121.54
	1:250	8.98	100	284.40
	1:500	4.75	100	150.28
	1:750	4.18	100	132.30
	1:1000	3.69	100	116.79
F2	1:100	4.03	100	127.71
	1:250	9.26	100	293.27
	1:500	5.65	100	179.02
	1:750	4.43	100	140.38
	1:1000	3.35	100	106.18
F3	1:100	3.80	100	120.43
	1:250	8.92	100	282.34
	1:500	5.41	100	171.18
	1:750	4.90	100	155.19
	1:1000	3.53	100	111.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-43 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ในอัตราส่วนต่างๆ วันที่ 90 ของการหมัก (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความงอกเฉลี่ย (%)	ดัชนีการงอก (%)
F4	1:100	3.48	100	110.21
	1:250	8.16	100	258.51
	1:500	5.24	100	165.80
	1:750	4.78	100	151.31
	1:1000	3.76	100	119.00
F5	1:100	3.45	100	109.26
	1:250	8.64	100	273.56
	1:500	4.57	100	144.58
	1:750	4.30	100	136.26
	1:1000	3.60	100	113.94
F6	1:100	3.30	100	104.51
	1:250	8.09	100	256.22
	1:500	4.39	100	139.03
	1:750	4.57	100	144.58
	1:1000	3.30	100	104.51
F7	1:100	3.26	100	103.33
	1:250	8.58	100	271.81
	1:500	4.26	100	134.76
	1:750	4.34	100	137.29
	1:1000	3.47	95	104.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศุภัชญา ชนชนะชัย เกิดวันที่ 10 กันยายน พ.ศ.2525 ที่จังหวัดขอนแก่น จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อ พ.ศ.2547 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย