



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การผลิตเชื้อจุลินทรีย์ค้ำจุนช่วยย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสียเชิงพาณิชย์
THE PRODUCTION OF EFFECTIVE MICROORGANISMS IN COMPOST
AND SEWAGE BIODEGRADATION

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์
ที่มีประสิทธิภาพในการจัดการสิ่งแวดล้อม

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550-2551
จำนวน 637,000 บาท

หัวหน้าโครงการ
ผู้ร่วมโครงการ

دنؤدت เพ็งอัน
อนันต์ ปินดาร์ภษ
พัฒน์ กสิกรรมยีนยง
สัชฌัญญา อรุณรุ่งโรจน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

การผลิตเชื้อจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายสารในขยะและ
น้ำเสียเชิงพาณิชย์

THE PRODUCTION OF EFFECTIVE MICROORGANISMS IN
COMPOST AND SEWAGE BIODEGRADATION

دنۇوات پەنگۇن¹ انانۇت پىنطارۇك² پەتنۇ كاسىكاميۇن-يۇنگ¹
سۇخۇنۇئا ارونرۇنگروتن¹

DANUWAT PENG-ONT ANAN PINTARUK PATH KASIKAMYUEN-YONG
SUCHANYA AROONRUNGROTE

¹ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดขยะและน้ำเสียมาทดสอบในรูปแบบของเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสม จากการผลิตเชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตแบบเติมอากาศ มีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงกว่าแบบไม่เติมอากาศ เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์เชื้อเดี่ยวและเชื้อผสมไปทดสอบบำบัดขยะ โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปปุ๋ยหมักและในรูปของเหลว พบว่า การใช้จุลินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมักทำให้การย่อยสลายขยะเกิดขึ้นเร็วกว่า โดยเชื้อเดี่ยวไอโซเลท MJUT076 มีประสิทธิภาพในการบำบัดขยะได้ดีที่สุด ทำให้ขยะเกิดการสูญเสียน้ำหนัก 22.45 และ 18.82 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนการบำบัดขยะโดยใช้เชื้อผสม พบว่า ขยะเกิดการสูญเสียน้ำหนัก 17.07 และ 21.74 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการนำจุลินทรีย์ไปบำบัดน้ำเสียของโรงแรมและโรงงานแปรรูปสุกร พบว่า เชื้อเดี่ยวไอโซเลท PB014 ที่ผลิตแบบไม่เติมอากาศ สามารถลดค่าบีโอดีได้สูงที่สุด โดยลดค่าบีโอดีของน้ำเสียจากโรงแรมและโรงงานแปรรูปสุกรได้ 65.21 เปอร์เซ็นต์ และ 64.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดค่าบีโอดีได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยเชื้อผสม การใช้เชื้อผสมบำบัดน้ำเสีย พบว่า การใช้เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122, และ PB014 ที่ผลิตแบบเติมอากาศ สามารถลดค่าบีโอดี ของ

น้ำเสียจากโรงแรงแและโรงงานแปรรูปสุกรได้ 25.00 เปอร์เซนต์ และ 62.35 เปอร์เซนต์ ซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014

ABSTRACT

This study was carried out to use pure and mixed cultures that have high effective decomposing activities to degrade the garbage and wastewater treatment. Bacteria producing under aerobic and anaerobic condition showed that the growth of bacteria was stimulated when produce under aerobic condition. Pure and mixed cultures that produced in compost form and liquid form were use in compost degradation. The result showed that MJUT076 with compost form gave the highest efficiency in compost degradation as 22.45% and 18.82% when compare with control. Using mixed cultures gave efficiency in compost degradation as 17.07% and 21.74% . High BOD reduction in wastewater of hotel and pork processing plant was observed when treated with PB014 with produce under anaerobic condition as 65.21% and 64% respectively. Additionally the pure isolate showed high efficiency of BOD reduction than mixed cultures treatment. In comparison with mixed cultures, the result indicated that mixed cultures of MJUT026, MJUT076, MJUT122 and PB014 with produce under aerobic condition showed better BOD reduction from hotel and pork processing plant as 25% and 62.35% than the mixed cultures of MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 and PB014.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2550-2551

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนุช เนียมทรัพย์ ผู้อำนวยการโครงการวิจัยฯ ที่กรุณาให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางการวิจัยจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณภัทธนาวรรณ พรหมนิม นักวิทยาศาสตร์ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่คอยให้คำแนะนำและมอบความรู้อันมีค่าอย่างยิ่งในระหว่างการวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนเป็นรายงานการวิจัยที่สมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้จัดการโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และผู้จัดการโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกรภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย

25 มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	29
ผลการทดลอง	35
วิจารณ์ผล	46
สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อ	55
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์และสารเคมี	56
ภาคผนวก ค ถังหมักและการเตรียมถังหมัก	59
ภาคผนวก ง ผลการทดลองบำบัดขยะและน้ำเสีย	63
ภาคผนวก จ เอกสารประกอบการฝึกอบรมและผลการฝึกอบรม	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดและหน้าที่ของแบคทีเรียที่นิยมใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์	6
2	ราคาของอินทรีย์และอนินทรีย์ในโตรเจน (สำรวจราคาในระหว่างปี 2543 – 2544)	9
3	ส่วนประกอบของกากน้ำตาลในประเทศไทย	12
4	แสดงรายละเอียดลักษณะเฉพาะของถังหมักแม่ใจ (Maejo Fermenter)	26
5	ค่าพีเอชและค่าความหวานของสารละลายในถังหมักที่ไม่เติมอากาศ	37
6	ค่าพีเอชและค่าความหวานของสารละลายในถังหมักที่เติมอากาศ	38
7	อุณหภูมิและค่าพีเอชของขยะหลังการบำบัดด้วยจุลินทรีย์	40
8	ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ ก่อนและหลังการเติมเชื้อจุลินทรีย์	42
9	ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสุกรแม่ใจ ก่อนและหลังการเติมเชื้อจุลินทรีย์	44

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาวะการหมักจุลินทรีย์	16
2	ถังหมักที่ประกอบด้วยไบปัดชุดเดียว	17
3	ถังหมักที่ประกอบด้วยไบปัด 3 ชุด	17
4	ถังหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์แม่ใจ (Maejo Fermenter)	25
5	การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักที่ไม่เติมอากาศ	36
6	การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักที่เติมอากาศ	36
7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารในขยะโดยการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์แบบเปียกและแบบแห้ง	41
ภาพภาคผนวกที่		
1	ถังหมักจุลินทรีย์	59
2	ฐานวางถังหมักจุลินทรีย์	60
3	ท่อช่องทางรับของเหลวจากภายในและภายนอก	60
4	การติดตั้งเครื่องผลิตออกซิเจนแบบมีตัวกรอง กับถังหมักแบบเติมอากาศ	61
5	การต่อท่อจากช่องทางรับของเหลวภายนอกกับถังผสม	62
6	ผลการทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ราดโดยตรง (แบบเปียก)	63
7	ผลการทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ทำเป็นปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ก่อนแล้วโรยให้ทั่ว (แบบแห้ง)	63
8	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม	64
9	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่ใจ บริษัทเบทาโกร ภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม	64

คำนำ (Introduction)

ปัจจุบันการพัฒนาการผลิตเชื้อจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสียในประเทศไทยกำลังได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวาง โดยได้มีความพยายามที่จะพัฒนาการผลิตจากระดับห้องทดลองปฏิบัติการไปสู่ระดับการผลิตอุตสาหกรรม ด้วยการใช้สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดแยกได้ใหม่จากแหล่งคัดแยกในประเทศไทยเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมภายในประเทศ และการใช้เทคนิคการเลี้ยงแบบ Fed batch culture และสูตรอาหารที่ได้จากการทดลองในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับประเทศไทยเพื่อนำมาใช้แก้ไขปัญหาขยะและน้ำเสีย

ปัญหามลพิษขยะและน้ำเสีย มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนเป็นอย่างมาก และนับวันจะทวีเพิ่มมากขึ้น การดำรงชีพของทุกคนในปัจจุบัน ต้องเผชิญกับภาวะวิกฤติอันเกิดจากสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมที่รุนแรงขึ้นตลอดเวลา สาเหตุสำคัญประการหนึ่ง คือ ชุมชนต่างๆ ยังขาดระบบบำบัดน้ำเสียและการกำจัดขยะมูลฝอยที่ดีและมีประสิทธิภาพ และทุกวันนี้ปัญหาขยะและน้ำเสียได้ถือเป็นปัญหาระดับชาติของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ที่มีประชากรมากและมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ด้วย เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ เป็นต้น ขยะนั้นมีส่วนประกอบหลากหลายรวมกันอยู่ แต่ละประเภทยังมีอายุการสลายตัวที่แตกต่างกัน บางชนิดสลายตัวได้ช้ามาก การแยกขยะจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้การบำบัดทำได้ดี ขยะที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ก็คือ ขยะที่มีสารประกอบพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง โปรตีน และไขมัน ซึ่งหากนำมาย่อยสลายแล้วสามารถทำเป็นปุ๋ยได้ จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถย่อยสารประกอบเหล่านี้ได้ โดยการสร้างเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ หรือสร้างแล้วยังอยู่ในเซลล์ ซึ่งมักตรวจพบจุลินทรีย์เหล่านี้ได้จากดินและจากแหล่งต่างๆ ที่มีสารประกอบดังกล่าวสะสมอยู่ แต่ที่เป็นปัญหาในทุกวันนี้เนื่องจากปริมาณขยะมีมากและประชากรมักทิ้งกองหรือทิ้งลงในแม่น้ำลำคลองจำนวนมาก จนธรรมชาติฟอกตัวเองไม่ทัน ส่วนน้ำเสียนั้นก็มีปัญหาเช่นกัน เมื่อมีชุมชนใหญ่ก็จะมีมลพิษน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่มีการบำบัดก่อน จึงทำให้แหล่งน้ำสาธารณะฟอกตัวเองไม่ทันเช่นกัน ประกอบกับโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนซึ่งไม่มีพื้นที่หรือระบบการจัดการที่ดีพอก็ระบายน้ำเสียสู่ท่อระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ก่อให้เกิดน้ำเสียเช่นกัน นอกจากการออกกฎหมายควบคุมการทิ้งขยะและการระบายน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว การรณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปร่วมมือกันแยกขยะ และหาวิธีการนำมาใช้ใหม่เพื่อลดจำนวนขยะเป็นสิ่งจำเป็นแล้ว การกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียโดยการใช้

จุลินทรีย์เพื่อลดระยะเวลาการสลายตัวของขยะและน้ำเสียทุกชนิดก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในต่างประเทศมีผู้สนใจนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาเติมในขยะและน้ำเสียนอกเหนือไปจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติแล้วเพื่อลดปริมาณของสารพิษ และเพื่อให้การสลายตัวของสารอินทรีย์เป็นไปด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้น ในระยะนี้มีการนำเข้าจุลินทรีย์จากต่างประเทศมาใช้ในการกำจัดขยะและน้ำเสียหลายชนิด แต่ก็อยู่ในขั้นทดลองและโฆษณา การนำจุลินทรีย์จากต่างประเทศมาใช้ในประเทศอาจไม่ได้ผลเท่าที่ควรและมีราคาแพง การที่จุลินทรีย์มีเมแทบอลิซึมที่หลากหลายและต้องการสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน และจากการที่พบว่าที่ใดมีสารประกอบอยู่ ที่นั้นย่อมต้องมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารประกอบนั้นอยู่ด้วยเสมอ การคัดเลือกจุลินทรีย์จากท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดในท้องถิ่นจึงน่าจะให้ผลที่ดีกว่า และถ้าขยะและน้ำเสียนั้นมีความซับซ้อนของสารประกอบมากก็อาจนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาศึกษาการอยู่ร่วมกันเพื่อทำให้การกำจัดขยะหรือบำบัดน้ำเสียเกิดประสิทธิผลมากที่สุด และจัดทำให้จุลินทรีย์อยู่ในรูปแบบที่ให้แต่ละครัวเรือนหรือหน่วยงานสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกที่สุด

จุลินทรีย์ (Microbiology) ได้จากการอาศัยกระบวนการหมักซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนแปลงสับสเตรทให้ได้เป็นผลผลิตที่ต้องการและมีการสกัดหรือสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นสารอื่นๆ ในอุตสาหกรรมอาหาร สินค้าอุปโภค เช่น นมหมัก ขนมปัง ยาสีฟัน สบู่ แชมพู ผงซักฟอก น้ำส้มสายชู เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เป็นต้น รวมทั้งเครื่องสำอาง (ใช้ในการแต่งกลิ่นเครื่องสำอางให้น่าใช้มากขึ้น) นอกจากนี้สารประกอบชนิดใหม่หลายชนิดที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่างๆ และเป็นประโยชน์ในการรักษาโรคบางชนิดได้

ในปัจจุบันตลาดในประเทศและตลาดโลกมีความต้องการเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์เพิ่มขึ้น ความต้องการใช้จุลินทรีย์ในประเทศ มีทั้งการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ จุลินทรีย์ผลิตในประเทศส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่มีการคัดเลือก เพื่อใช้ในการผลิตสารปฏิชีวนะ การคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตยาโรค และการคัดเลือกเพื่อใช้ในการผลิตสารส่งเสริมการเจริญ (กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์) เป็นต้น

ปัจจุบันจุลินทรีย์เริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้นในประเทศไทยผู้จัดจำหน่ายเชื้อจุลินทรีย์ยังไม่มีแพร่หลายมากนัก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการทำในหองปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมของตนเองเท่านั้นหรือที่มีการเพาะเลี้ยงเชื้อก็จะจำหน่ายโดยตรงแก่ผู้บริโภค หรือโรงงานขนาดเล็กในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยบริษัทจะขายตรง มูลค่าตลาดในประเทศประเภทเคมีภัณฑ์อินทรีย์ (รวมนำเข้า) ในปี 2542 ประมาณ 57,029.78 ล้านบาท ปี 2543 ประมาณ 75,741.90 ล้านบาท ปี 2544 ประมาณ 77,028.83 ล้านบาท และปี 2545 (ม.ค.-พ.ย.)

74,399.61 ล้านบาท ตลาดนำเข้าที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สิงคโปร์ สาเหตุที่ปริมาณการนำเข้ามีปริมาณมากเนื่องจากการที่ประเทศไทยกำลังขยายตัวเข้าสู่ระบบการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ เพิ่มมากขึ้นจากปี พ.ศ.2540 ที่ประสบปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศ และผลิตภัณฑ์ของไทยยังต้องพึ่งวัตถุดิบด้านเคมีภัณฑ์อินทรีย์และจุลินทรีย์จากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก หากมีการจัดตั้งโรงงานจุลินทรีย์ขึ้นมาจะทำให้ประเทศไทยสร้างเงื่อนไขและลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ และจุลินทรีย์ในประเทศไทยยังมีความหลากหลายทางชีวภาพซึ่งจะเป็นการส่งออกเป็นสินค้าที่สำคัญในอนาคต อย่างไรก็ตามภาวะเศรษฐกิจที่เริ่มฟื้นตัวในปี 2542 และกำลังซื้อในประเทศเริ่มเพิ่มขึ้น ทำให้คาดว่าแนวโน้มความต้องการจุลินทรีย์และส่วนผสมต่างๆ ของจุลินทรีย์ในปี พ.ศ.2546-2550 จะกลับมาขยายตัวอีกครั้ง

แนวโน้มตลาดของจุลินทรีย์ในประเทศไทย มีแนวโน้มขยายตัวได้ดี ในปี พ.ศ.2546 คาดว่า จะมีอัตราการเติบโตราวร้อยละ 10 ต่อปี คิดเป็นมูลค่า 80-90 หมื่นล้านบาท ในอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ เนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตจากกระบวนการหมักซึ่งจะได้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่นำไปใช้ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารและยา และอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตผงซักฟอก อุตสาหกรรมสิ่งทอ การฟอกหนัง เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นการผลิตขึ้นโดยใช้วัตถุดิบในประเทศเกือบทั้งหมด การขยายตลาดในประเทศจำเป็นต้องประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภครู้จักสรรพคุณของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลิตภัณฑ์อื่นๆ ประเภทเดียวกันเป็นจำนวนมากเช่น จุลินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ สำหรับสู่ทางตลาดส่งออกของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ บริษัทจำเป็นต้องมีระบบจัดการคุณภาพด้านความปลอดภัยหรือ HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) ของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO ในการควบคุมคุณภาพด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบอย่างเหมาะสมในการขยายเชื้อจุลินทรีย์เพื่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
3. เพื่อดำเนินการขยายรูปแบบการผลิตเชื้อจุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล
4. เพื่อทำเป็นแหล่งสาธิต แหล่งถ่ายทอดเทคโนโลยี ฐาน ประชุมและฝึกอบรม
5. เพื่อนำผลงานวิจัยและเทคโนโลยีที่เหมาะสมถ่ายทอดสู่ชุมชนแม่โจ้และชุมชนใกล้เคียง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีแหล่งสาธิตระบบการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย และเป็นแหล่งแห่งการเรียนรู้ตาม พ.ร.บ. การศึกษาแห่งชาติ
2. ทำให้มีแหล่งถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม พร้อมทั้งสร้างองค์ความรู้สำหรับประชาชนภาคเหนือตอนบนให้ลดการใช้สารเคมีแบบยั่งยืน
3. ทำให้มีแหล่งองค์ความรู้แก่อาจารย์และนักศึกษาทุกสาขาวิชาในมหาวิทยาลัยได้ใช้ประโยชน์ร่วมกัน
4. ทำให้ชุมชนที่รับการฝึกอบรมเกิดความรู้และทักษะไปบริหารจัดการในพื้นที่ของตน และทำให้มหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นมหาวิทยาลัยท้องถิ่นช่วยเหลือชุมชนเกษตรและการบำบัดน้ำเสียและขยะ โดยใช้ “ตราแม่โจ้” ประกันคุณภาพ

การตรวจเอกสาร (Literature review)

ความสำคัญของจุลินทรีย์ในการกำจัดขยะและน้ำเสีย

จุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย มีความสำคัญมากในกระบวนการบำบัดขยะและน้ำเสีย หลักการที่สำคัญคือการใช้แบคทีเรียไปย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะและน้ำเสีย ปฏิกิริยาชีวเคมีของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นมีสองชนิดคือ แบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสารอินทรีย์ในขยะและน้ำเสียมีหลายชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบใหญ่เป็นคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ นิยมเขียนสัญลักษณ์ COHNS แทนสารอินทรีย์ในขยะและน้ำเสีย (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524)

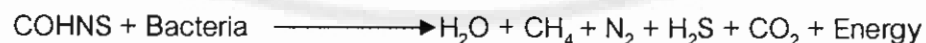
ในปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน Aerobic bacteria จะเป็นตัวการทำลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานดังสมการ



พลังงานที่ได้จะถูกนำมาใช้สร้างเซลล์ใหม่ดังสมการ



ดังนั้นออกซิเจนจะต้องมีเพียงพอสำหรับในปฏิกิริยาแบบนี้ COHNS ที่ถูกเผาผลาญเพื่อพลังงาน จะมีประมาณ 70% ของ COHNS ทั้งหมด ถ้าไม่มีออกซิเจน Anaerobic bacteria และ Facultative Bacteria จะเจริญเติบโต ส่วน Aerobic bacteria จะตายหมด ในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน COHNS จะถูกทำลายดังสมการ



ตารางที่ 1 ชนิดและหน้าที่ของแบคทีเรียที่นิยมใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

แบคทีเรีย	หน้าที่ในการทำงาน
<i>Aeromonas aerogenes</i>	ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ จะออกซิไดส์คาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์สายสั้นๆ ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์โบไฮเดรตและน้ำแทน
<i>Bacillus subtilis</i>	สามารถออกซิไดส์คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน น้ำมัน โปรตีน และแป้ง โดยสามารถทำงานได้ดีในการย่อยสลายตะกอน เนื่องจากสามารถหลั่งเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก อีกทั้งยังสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่กักขังได้ในขณะที่กำลังเจริญเติบโต
<i>Cellulomonas biazolea</i>	เปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้
<i>Enterobacter</i> sp.	เจริญเติบโตได้ดีทั้งที่ไม่มีออกซิเจนและสภาพที่มีอากาศ โดยภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนจะออกซิไดส์สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบง่ายๆ ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กลายเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชน้ำ แต่ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำๆ จะเกิดการหมักของสารประกอบคาร์บอนทำให้เกิดกรดอินทรีย์
<i>Nitrosamines</i> sp.	ออกซิไดส์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนให้เป็นไนไตรต์-ไนโตรเจน ซึ่งต้องการออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอ การเจริญเติบโตยังต้องอาศัยสารประกอบอินทรีย์ของคาร์บอนที่ละลายน้ำ แต่กระบวนการทำงานจะถูกจำกัดเมื่อมีสารประกอบอินทรีย์มากกว่า 20 ppm
<i>Nitrobacter winogradskyi</i>	ออกซิไดส์ไนไตรต์-ไนโตรเจน ให้เป็นไนเตรต โดยกระบวนการทำงานจะถูกยับยั้งโดยปริมาณแอมโมเนีย
<i>Pseudomonas denitrificans</i>	ลดระดับไนไตรต์-ไนโตรเจน ในสภาพที่ไม่มีอากาศ หน้าที่หลักคือ ออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

ที่มา : อ่ำพล (2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์จะเจริญได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารที่เหมาะสม ซึ่งจะแตกต่างกันในจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ แหล่งพลังงาน แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แร่ธาตุ วิตามิน ความเป็นกรดต่างของอาหาร อุณหภูมิ และออกซิเจนในกรณีของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (Moat และ Foster, 1995)

แหล่งคาร์บอน

แหล่งคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์เซลล์และพลังงานของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เจริญในสภาวะที่ไม่มีอากาศจะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์เซลล์ ส่วนจุลินทรีย์ที่เจริญในสภาวะที่มีอากาศ จะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณ 50 – 55 เปอร์เซ็นต์ ในการสังเคราะห์เซลล์ (Bosze และคณะ 1995) นอกจากชนิดของแหล่งคาร์บอนแล้ว ปริมาณของแหล่งคาร์บอนก็มีผลต่อการเจริญของเซลล์โดยตรง การเลือกชนิดของแหล่งคาร์บอนและการใช้แหล่งคาร์บอนในปริมาณที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเซลล์ (Stanbury และคณะ, 1995)

แหล่งคาร์บอนที่ใช้ในกระบวนการหมักระดับห้องปฏิบัติการ ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาไปเป็นระดับนำร่องและระดับอุตสาหกรรมด้วย ดังนั้นราคาของวัตถุดิบที่ใช้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการพิจารณาให้เหมาะสม กระบวนการหมักโดยทั่วไปนิยมใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอน เช่น แป้งจากธัญพืชชนิดต่างๆ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง หรืออาจใช้ข้าวโพดหรือเมล็ดธัญพืชที่บดเป็นชิ้นเล็กๆ (Stanbury และคณะ, 1995) ในปัจจุบันวัตถุดิบที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงเชื้อหมักเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร (Akidumila และ Glatz, 1998) เช่น รำข้าว กากน้ำตาล เวย์ น้ำแฉข้าวโพด (Stanbury และคณะ, 1995) การนำเอาวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบในรูปของผลผลิตที่ได้แล้วยังสามารถลดปัญหาการจัดการของเสียเหล่านี้ได้อีกด้วย (Akidumila และ Glatz, 1998)

การศึกษาจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ส่วนใหญ่จะเน้นผลผลิตในรูปของเอนไซม์มากกว่าผลผลิตที่เป็นตัวเซลล์ แหล่งคาร์บอนที่ใช้ในสูตรอาหารจึงเป็นแหล่งที่ส่งเสริมให้มีการผลิตเอนไซม์ได้สูง ได้แก่ น้ำมัน แหล่งไขมันที่ได้จากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง (Shabtia และ Daya – Mishne, 1992; Kojima และคณะ, 1994) น้ำมันมะกอก (Del Rio และ คณะ, 1990; Sugihara และคณะ, 1991; Benjamin และ Pandey, 1996) ไขมันสัตว์ (Bendnarski และคณะ,

1993) อย่างไรก็ตามแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตเอโนไซม์นี้อาจเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับการเจริญของเซลล์ก็ได้

ในการศึกษานี้ต้องการหาแหล่งคาร์บอนที่ส่งเสริมให้เชื้อมีการเจริญเติบโตได้สูงสุด รวมทั้งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในประเทศ มาทดแทนแหล่งคาร์บอนที่มีราคาสูง พบว่ารำข้าว กากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายโดยทั่วไป เนื่องจากประเทศไทยมีการผลิตข้าวในปริมาณถึง 17.2 – 21.3 ล้านตัน (งามชื่น, 2537) รำข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการบวนการสีข้าวนั้นจะมีปริมาณถึง 9.33 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณข้าวทั้งหมด (Tomus, 1989) กากน้ำตาลเป็นวัสดุที่เกิดจากการบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งในแต่ละปีปริมาณกากน้ำตาลมากกว่า 1.6 – 2.4 ล้านตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2534 – 2536) ส่วนแป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตที่แปรรูปมาจากมันสำปะหลังซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้มากจนเป็นสินค้าส่งออกอีกอย่างหนึ่งของประเทศ (ศานิต, 2540) ดังนั้นจึงเลือกกากน้ำตาลมาใช้ในการศึกษาเพราะหาง่ายในท้องถิ่น ราคาค่าการเกษตรและยังมีราคาถูกอีกด้วย

แหล่งไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์จะใช้ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีนและกรดนิวคลีอิก ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้อมีไนโตรเจนไม่เพียงพอจะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถสังเคราะห์เซลล์ได้ (ธีระ, 2539) จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ไนโตรเจนได้แตกต่างกันออกไป บางชนิดสามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีไนโตรเจนในรูปของสารอนินทรีย์ บางชนิดเจริญได้ดีในอาหารที่มีไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ ดังนั้นการเลือกให้แหล่งไนโตรเจนจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของจุลินทรีย์นั้นๆ (Boze และคณะ, 1995; Stanbury และคณะ, 1995)

โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์เกือบทุกชนิดจะต้องเจริญในอาหารที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนได้ดีกว่าอนินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจนที่ใช้อาจเป็นโปรตีน ยูเรีย เปปโติน ทริปโติน สารสกัดจากเนื้อและกรดอะมิโนบางชนิด (Stanbury และคณะ 1995) แต่อินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้จะมีข้อจำกัดในแง่ของราคาที่ค่อนข้างสูง (ยกเว้นยูเรีย) การนำไนโตรเจนนี้มาใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมจึงเป็นไปได้ยาก (Parekh และคณะ, 1999) และเมื่อเปรียบเทียบราคาสารอินทรีย์ไนโตรเจนกับอนินทรีย์ไนโตรเจนแล้วพบว่าอินทรีย์ไนโตรเจนจะมีราคาถูกกว่ามาก (ตารางที่ 2) ดังนั้นการใช้อนินทรีย์ไนโตรเจนในระดับอุตสาหกรรมจึงมีความเป็นไปได้มากกว่าการใช้อินทรีย์ไนโตรเจน

ตารางที่ 2 ราคาของอินทรีย์และอนินทรีย์ในโตรเจน (สำรวจราคาในระหว่างปี 2543 – 2544)

ชนิดของไนโตรเจน	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)
แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH ₄) ₂ SO ₄)	500	280
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH ₄ Cl)	500	320
ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH ₄) ₂ HPO ₄)	500	560
โซเดียมไนเตรต (NaNO ₃)	500	350
เปปโตน (peptone)	500	1,600
สารสกัดจากเนื้อ (beef extract)	500	2,300

การใช้อินทรีย์ไนโตรเจนในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์นั้น พบว่า กลีโอสแอมโมเนียมเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถใช้กลีโอสแอมโมเนียมในการเจริญได้ดี โดยกลีโอสแอมโมเนียมที่ใช้ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งเป็นกลีโอสแอมโมเนียมที่มีราคาถูกที่สุด นอกจากนี้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์หรือแก๊สแอมโมเนียมที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชในกระบวนการหมักก็สามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ได้ด้วย ส่วนไนเตรตในรูปของโซเดียมไนเตรตหรือแอมโมเนียมไนเตรตก็สามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในการเลี้ยงจุลินทรีย์ได้เช่นกัน (Solomons, 1969) นอกจากนี้ อินทรีย์ไนโตรเจนแล้ววัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมบางประเภทสามารถที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในการเลี้ยงเชื้อได้ เช่น น้ำแช่ข้าวโพด (corn steep liquor) กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง เป็นต้น (Stanbury และคณะ, 1995)

พีเอช

พีเอชมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญและระบบเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ โดยอัตราการเจริญของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงเมื่อพีเอชสูงหรือต่ำกว่าพีเอชที่เหมาะสม จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีช่วงของพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญแตกต่างกัน บางชนิดเจริญได้ดีในสภาวะที่มีพีเอชต่ำประมาณ 2 – 5 (acidophile) บางชนิดเจริญได้ดีที่พีเอชเป็นเบสประมาณ 9 – 11 (alkalophile) แต่โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ส่วนมากจะเจริญได้ดีที่สุดที่พีเอชอยู่ในระดับกลางๆ (neutrophile) หรือพีเอชประมาณ 7.0 (Moat และ Foster, 1995) ดังนั้นการที่จะให้เชื้อมีอัตราการเจริญได้สูงและคงที่ จำเป็นต้องมีการควบคุมพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

วิธีการควบคุมพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถทำได้โดยการเติมสารประกอบบางอย่างลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ อาหารเลี้ยงเชื้อหลายชนิดนิยมใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็นบัฟเฟอร์ แคลเซียมคาร์บอเนตจะทำหน้าที่ควบคุมพีเอชโดยจะแตกตัวเมื่อพีเอชของอาหาร

เลี้ยงเชื้อลดลงหรือต่างเช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_3) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เติมลงไป ภายหลัง อย่างไรก็ตามส่วนประกอบบางอย่างในอาหารเช่นฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ก็มีสมบัติเป็น บัฟเฟอร์ควบคุมพีเอชได้ นอกจากนี้การใช้แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนในอัตราส่วนที่สมดุลกันก็ จะช่วยควบคุมพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อได้ด้วย (สมใจ, 2537)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญและการเกิดกิจกรรมของเซลล์ โดยเซลล์จะมีอุณหภูมิ เท่ากับอุณหภูมิของการเพาะเลี้ยงอย่างไม้อาจหลีกเลี่ยงได้ อุณหภูมิจะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายใน เซลล์โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์เพิ่มขึ้นแต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ เอนไซม์ หรือโปรตีนภายในเซลล์เสียสภาพการทำงานได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์จึง เป็นอุณหภูมิที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ได้สูงสุดโดยไม่ทำให้โปรตีนหรือเอนไซม์เสียคุณสมบัติไป อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป บางชนิดเจริญได้ดีใน อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศา เซลเซียส (psychrophiles) บางชนิดเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิปานกลางประมาณ 25–45 องศา เซลเซียส (mesophiles) และบางชนิดเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส (thermophiles) (Daniel, 1995) ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการเพาะเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับชนิดของจุลินทรีย์ จึงเป็นสิ่งสำคัญ

ออกซิเจน

ออกซิเจนมีความสำคัญสำหรับการเจริญของเชื้อที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (aerobic microorganisms) ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจ (respiratory chain) การเลี้ยงเชื้อในสภาวะที่มีการให้ออกซิเจนเพียงพอเชื้อจะมีการเจริญได้ ดี เนื่องจากสภาวะที่มีการให้ออกาศจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอาหารและสร้างพลังงานได้สูง ทำให้มีพลังงานเพียงพอการนำไปสร้างสารชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ได้อย่างเพียงพอ (สาโรจน์และประวิทย์, 2538) นอกจากนี้ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ยังขึ้นอยู่ กับ ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย ถ้าใช้แหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถเมตาบอลิไต์ได้ง่าย รวดเร็วความเข้มข้นสูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้อย่างรวดเร็ว และมีความต้องการของออกซิเจนสูง จนอาจเกินความสามารถในการให้อาหารของถังหมักได้ จุลินทรีย์แทบทุกชนิดสามารถนำ ออกซิเจนไปใช้ได้ก็ต่อเมื่อออกซิเจนอยู่ในรูปของเหลว จึงเปรียบเทียบได้กับสารอาหารอื่นที่ละลาย อยู่ในอาหาร เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และเกลือแร่ต่างๆ แต่ออกซิเจนจะแตกต่างจากอาหารอื่นใน ส่วนข้อจำกัดในการละลาย โดยออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้ในปริมาณที่จำกัดกว่าสารอาหาร อื่น ดังนั้นการให้ออกาศอย่างต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการหมักที่ต้องการออกาศ (Daniel และคณะ, 1979)

การเลี้ยงเชื้อในระดับห้องปฏิบัติการนิยมใช้เครื่องเขย่า (shaker) ในการให้อากาศการเขย่านี้จะทำให้เกิดการถ่ายเทของออกซิเจนจากอากาศที่อยู่ช่องว่างระหว่างอาหารกับจุลลีสที่ปิดพลาสติกลงสู่อาหารเหลว (Solomons, 1969) เครื่องเขย่ามีอยู่ 2 แบบ คือ เครื่องเขย่าที่มีให้อากาศโดยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามแนวราบ (reciprocal shaker) และเครื่องเขย่าที่มีการให้อากาศโดยการหมุนเป็นวง (rotary shaker) อัตราการส่งผ่านออกซิเจนโดยเครื่องเขย่าแบบกลับไปกลับมาตามแนวราบจะสูงกว่าการเขย่าแบบหมุนเป็นวง แต่การเขย่าแบบหมุนเป็นวงจะมีโอกาสที่อาหารจะหกหรือเปื้อนจุลลีสได้น้อยกว่าทำให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนได้ดีกว่า ส่วนการเลี้ยงเชื้อในระดับนําร่องและระดับอุตสาหกรรมจะมีการให้ออกซิเจนโดยติดตั้งระบบให้อากาศและเครื่องกวนในถังหมัก แต่ก็มีถังหมักบางชนิดที่ออกแบบให้มีระบบให้อากาศที่ดีพอโดยไม่ต้องให้เครื่องกวน (Daniel และคณะ, 1979; Stanbury และคณะ, 1995) การให้อากาศและการกวนนอกจากจะเป็นการเติมออกซิเจนให้เพียงพอับความต้องการในการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์แล้วยังเป็นการรักษาการกระจายตัวของเซลล์ให้แขวนลอยอยู่ในอาหารอย่างสม่ำเสมออีกด้วย (Daniel และคณะ, 1979)

อาหารและกรรมวิธีการป้อนอาหารให้จุลินทรีย์

แหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, วิตามิน และธาตุอาหารอื่นๆ

1. แหล่งคาร์บอน

กากน้ำตาล จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ในระยะแรกของการเลี้ยงจุลินทรีย์ได้กากน้ำตาลจากหัวบีท (sugar beet) ต่อมาจึงมีการนำกากน้ำตาลจากอ้อยมาใช้ ซึ่งกากน้ำตาลจากอ้อยมีไบโอดีอินอยู่ในปริมาณที่มากพอ โดยไม่ต้องเติมกากน้ำตาลที่ได้จากหัวบีทเข้าไปอีก (Rose และ Hsmison, 1970) นอกจากนี้กากน้ำตาลยังให้ธาตุอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตด้วย เพราะมีวิตามิน biotin, calcium pantothenate, inositol, thiamin, pyridoxine, riboflavin และ folic acid (Imrite, 1969) แต่อย่างไรก็ตามกากน้ำตาลก็มีข้อเสียอยู่บ้าง เพราะมักมีสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ปะปนมาด้วย เช่น sulfurdioxide, hydroxymethyl furfural, potassium imidodisulphonate, fatty acids และธาตุโลหะหนัก เช่น ทองแดง สังกะสี (ปราโมทย์, 2520; Rose และ Harrison, 1971) นอกจากนี้ความเข้มข้นของน้ำตาลมีผลต่อปริมาณการผลิตของเซลล์จุลินทรีย์ที่จะได้ (บุหลันและคณะ, 2519)

การใช้คาร์บอน (carbon assimilation) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการใช้น้ำตาล โดยที่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสามารถจะซึมผ่านเข้าตัวเซลล์ได้ง่าย สำหรับน้ำตาลโมเลกุลคู่ เช่น น้ำตาล

ซูโครส จะถูกย่อย (hydrolyze) โดยเอนไซม์อินเวอร์เทส ที่บริเวณ periplasmic spore ก่อนที่จะถูกนำเข้าไปในตัวของจุลินทรีย์ ส่วนน้ำตาลแล็กโทสจะไม่สามารถนำเข้าไปใช้ได้เลย และน้ำตาลมอลโทสอาจถูกนำไปใช้ได้โดยการซึมผ่านแบบธรรมดาและแบบ active transport ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ไม่ควรมากเกินไป เนื่องจากจะไปส่งผลทำให้จุลินทรีย์ผลิตแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Tirmazi และคณะ, 1973)

ในการใช้กลูโคสในสภาพ aerobic นั้นจะถูกใช้โดยผ่าน glycolytic pathway (TCA cycle) ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ของกลูโคสทั้งหมดและที่เหลือโดย pentose phosphate pathway อีก 6 เปอร์เซ็นต์ การใช้คาร์บอนของจุลินทรีย์ขึ้นกับแหล่งคาร์บอนที่ใช้เป็น substrate จุลินทรีย์จะมีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลให้อยู่ในรูปที่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ทั้งนี้ก็ย่อมมีผลต่อการเจริญเติบโตและระยะเวลาที่ต้องการในการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยปกติการใช้น้ำตาลซูโครสจะไม่มีปัญหาเพราะจะ hydrolyzed ได้ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งจะสามารถซึมผ่านเข้าตัวเซลล์ได้เลย (Peppler, 1960; phaff, 1968; Chen และ Chiger, 1985)

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของกากน้ำตาลในประเทศไทย

สารประกอบ	ร้อยละ
น้ำ	17-25
น้ำตาลซูโครส	30-40
น้ำตาลอินเวิร์ท	10-20
น้ำตาลทั้งหมด	50-60
เถ้า	7-15
สารอินทรีย์	10-20
ไนโตรเจน	0.86
ฟอสฟอรัส	0.18
โพแทสเซียม	3.0
แคลเซียม	0.5
เหล็ก	0.045
ทองแดง	0.045
โซเดียม	0.38

ที่มา : พัทธา (2520)

2. แหล่งไนโตรเจน

จุลินทรีย์จะใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน โดยปริมาณแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ ซึ่งขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในสารอาหาร และสภาวะการเลี้ยง ส่วนประกอบของไนโตรเจนในเซลล์อาจเปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของจุลินทรีย์ อัตราส่วนระหว่างเซลล์ไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรต จะมีความสำคัญในการเตรียมจุลินทรีย์ผง นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังใช้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต และยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนของจุลินทรีย์หลายชนิดได้ดี (Rose และ Harrison, 1971) Menzinsky (1950) รายงานว่า กากน้ำตาลมีปริมาณน้ำตาลต่ำและมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์สูงจะให้ผลผลิตดีกว่ากากน้ำตาลที่มีปริมาณน้ำตาลสูง และมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ (Prescott และ Dunn, 1959) สำหรับกากน้ำตาลจากหัวบีทและอ้อยมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่จะใช้ในการเจริญเติบโต จึงต้องมีการเติมไนโตรเจนลงไปในรูปแบบเกลือแอมโมเนียม เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือฟอสเฟต (Reed และ Pepler, 1973) นอกจากนี้ไนโตรเจนจะเป็นแหล่งอาหารแล้ว ธาตุนี้ยังมีความสำคัญต่อความสามารถในการขยายตัวและความคงทนในการเก็บรักษากากน้ำตาลจากอ้อยอีกด้วย

สำหรับทางการค้านิยมเติมไนโตรเจนในรูปแบบ aqueous ammonia, anhydrous ammonia, ammonium salt และยูเรีย โดยจะต้องพิจารณาในเรื่องราคา การใช้ประโยชน์ของยีสต์และผลต่อการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ประกอบกับส่วนพวกไนเตรตและไนไตรท์ เชื้อจุลินทรีย์จะสามารถใช้ได้ในการเข้าสู่เซลล์ของ ammonium ions ของจุลินทรีย์นั้นจะเข้าสู่เซลล์โดย K^+ -carrier system และจะแตกตัวเป็น glutamate และ glutamine ก่อนที่จะรวมกันเข้ากับ amino acid และ nucleotides ตัวอื่นๆ ส่วน ammonium hydroxide และยูเรียจะเข้าสู่เซลล์โดยผ่านแบบธรรมดา แล้วถูก hydrolyzed โดย enzyme urea aminolyase ให้กลายเป็น ammonia และ CO_2

3. แหล่งฟอสเฟต

ฟอสเฟต สามารถใช้ได้ในรูปแบบแคลเซียมซูเปอร์ฟอสเฟต แอมโมเนียมฟอสเฟต หรือกรดฟอสฟอริก ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการจัดหา ความบริสุทธิ์ของสารที่ใช้ และความสะดวกในการนำมาใช้ (Rose และ Harrison, 1970) เซลล์จุลินทรีย์จะดูดซึมสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ดีกว่า ไคโตเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Rose และ Harrison, 1971; Rosen, 1968) รายงานว่า ฟอสเฟตเป็นแร่ธาตุอาหารที่สำคัญ และอาจจะเติมในรูปแบบไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แคลเซียมเอซิกฟอสเฟต กรดฟอสฟอริก หรือรูปแบบอื่นๆ นอกจากนี้บางประเทศใช้ซูเปอร์ฟอสเฟตซึ่งราคาถูกแต่เนื่องจากซูเปอร์ฟอสเฟตมีฟลูออไรด์อยู่จำนวนหนึ่งซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ จึงมัก

นิยมใช้โคโคเดียมฟอสเฟตแทน (Rosen, 1968) มีรายงานว่า กากน้ำตาลแทบทุกชนิดขาดไนโตรเจน และฟอสเฟต ซึ่งฟอสเฟตที่มีส่วนใหญ่อยูในรูปสารอินทรีย์ แต่บางส่วนจะรวมอยู่ในสารอินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ (White, 1954) ดังนั้น ในทางอุตสาหกรรมทางการค้าจึงมักเติมลงไปในรูปแบบโมเนียมฟอสเฟต อัลคาไลน์ฟอสเฟต โพแทสเซียมฟอสเฟต และโซเดียมฟอสเฟต นอกจากนี้รายงานยังกล่าวถึงปริมาณฟอสเฟตที่จุลินทรีย์ต้องการยังขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนด้วย จุลินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูงจะต้องการฟอสเฟตมากขึ้นด้วย (Reed และ Peppler, 1973) ปริมาณฟอสเฟต (P_2O_5) ในเซลล์จะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.4-5.0 ของน้ำหนักแห้ง และในจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.8-3.5 ฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของเซลล์จุลินทรีย์ เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของเซลล์ และจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายเมื่อมีแหล่งพลังงาน เช่น กลูโคส สารเมตาฟอสเฟตจะถูกเก็บในเซลล์ในรูป phosphate energy ได้มากกว่าในรูป polyphosphate

4. ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารอื่นๆ ที่จะเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Rosen, 1968) ส่วนธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณน้อยบางชนิด (minor element) ได้แก่ สังกะสี, เหล็กและทองแดง ซึ่งธาตุเหล่านี้มักมีอยู่แล้วอย่างเพียงพอในกากน้ำตาล ยกเว้นแมกนีเซียม ซึ่งอาจเติมไปในรูปของ $MgSO_4$ ในกากน้ำตาลเพื่อให้เพียงพอ (Reed และ Peppler, 1973)

โพแทสเซียมและโซเดียมไอออนของธาตุทั้งสองจะเข้าสู่เซลล์โดยการ active transport ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ หากในอาหารไม่มีโพแทสเซียมไอออน เซลล์จะไม่สามารถดูดซึมฟอสเฟตได้

แมกนีเซียม และแคลเซียมไอออนทั้งสองจะเข้าสู่เซลล์ด้วยการ active transport โดยการ ใช้ ATP เช่นเดียวกับการนำโพแทสเซียมไอออนเข้าสู่เซลล์ และยังขึ้นกับปริมาณออกซิเจนด้วย ความสำคัญของแมกนีเซียมไอออนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และ cellular activities ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น enzyme activator ในขณะที่แคลเซียมไอออนมีความจำเป็นต่อการเจริญน้อยกว่า

ซัลเฟอร์มักถูกใช้อยู่รูปของซัลเฟต และนำเข้าสู่เซลล์โดยการ active transport ซึ่งจะผ่านเข้าไปในเซลล์ได้มาก ถ้ามีกลูโคสในอาหารเพียงพอ นอกจากนี้จะยังสามารถใช้ซัลไฟด์, ไทโอซัลเฟต, เมทไทโอนีน และกลูคาไทโอนแทนได้เช่นกัน

สำหรับ trace element นั้นทำหน้าที่เป็น catalyst หรือ activators ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบเอนไซม์และวิตามิน แร่ธาตุที่มี 2 ประจุ เช่น Ba^{2+} , Au^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , และ Cu^{2+}

สามารถซึมผ่านเข้าสู่ผิวเซลล์ได้อย่างรวดเร็วโดยการรวมตัวเข้ากับหมู่ฟอสเฟตและคาร์บอกซิลที่ผิวเซลล์ (Chen และ Chiger, 1985)

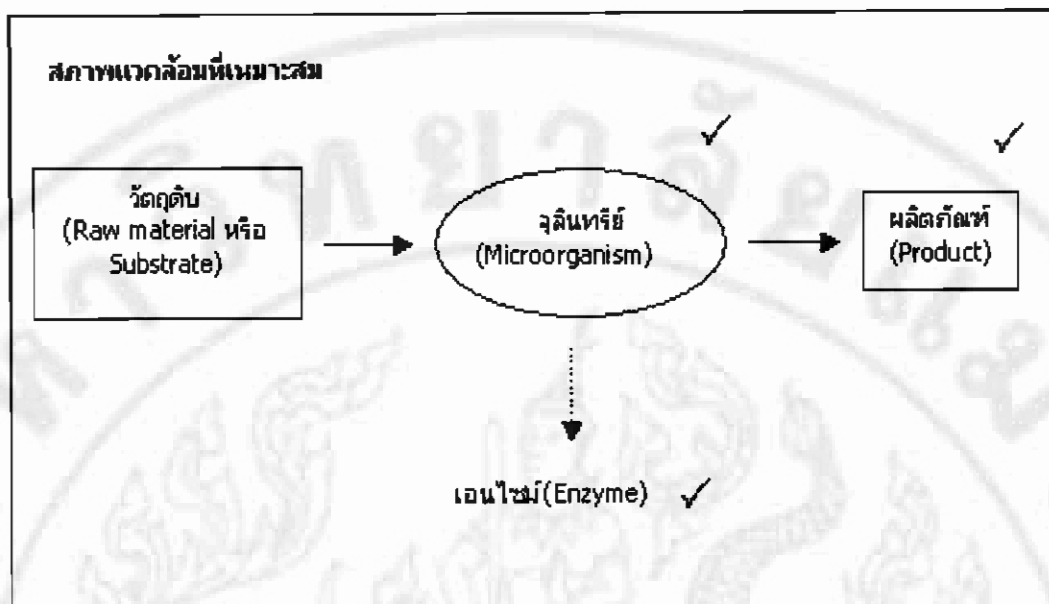
5. แหล่งวิตามิน

โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการวิตามินสำหรับการเจริญเติบโต (growth substance) ซึ่งมี biotin, pantothenic acid และ inositol (Henry, 1976) ในกากน้ำตาลมีสารเหล่านี้้อยู่บ้าง โดยเฉพาะกากน้ำตาลข่อยมีอยู่มาก (Rosen, 1968) ต่อมาพบว่า thiamin ทำให้ผลผลิตจุลินทรีย์ลดลง ปริมาณ growth substance ที่ต้องการภายใต้สภาวะที่มีอากาศอย่างเพียงพอจะเป็น 0.25 กรัม ไบโอติน 12 กรัม pantothenic acid และ 300 กรัม inositol ต่อกรัมของจุลินทรีย์แห้ง เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ให้โดยเฉพาะคาร์บอนและไนโตรเจนมีผลต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่จะเป็นผลต่อคุณสมบัติของจุลินทรีย์เพื่อจะได้จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรักษาอัตราส่วนระหว่างกากน้ำตาล ฟอสเฟต และไนโตรเจนที่ป้อนให้ถูกต้อง (Matsuda, 1961; Burrows, 1970)

ไบโอตินถูกนำเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์โดยการ carrier transport system และขึ้นกับสภาวะการเจริญเติบโตของยีสต์ การให้อากาศปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ความต้องการไบโอตินลดลงและถ้ามียูเรียเพียงพอความต้องการไบโอตินก็จะลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า สามารถใช้ biocytin, biotine-D-sulfoxide และ D-biotin methyl ester แทนไบโอตินได้

การออกแบบและสร้างถังหมักผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์

การหมัก เป็นเทคโนโลยีแห่งการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ เป็นศาสตร์แห่งการประมวลเอาวิชาความรู้ในแขนงต่างๆ มาพัฒนาในการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ เรียกว่า "เทคโนโลยีชีวภาพ" (Biotechnology) ดังปฏิกรณ์ชีวภาพหรือถังหมัก (fermenter) เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สภาวะการหมัก (condition) นั้นเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ ทำให้ได้จุลินทรีย์หรือผลิตผลจากจุลินทรีย์นั้นเป็นไปตามความต้องการและตอบสนองทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์, เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ นั่นก็คือจากกระบวนการหมักสุดท้ายแล้วจะได้ผลิตผล (product or output) ที่มีคุณภาพไม่มีสิ่งอื่นใดเจือปน ได้ปริมาณมากและต้นทุนต่ำ, คุ่มค่า นำไปประยุกต์ใช้กับการเกษตรและสิ่งแวดล้อมได้ดี โดยที่เกษตรกรหรือบุคคลทั่วไปสามารถปฏิบัติงานได้เอง



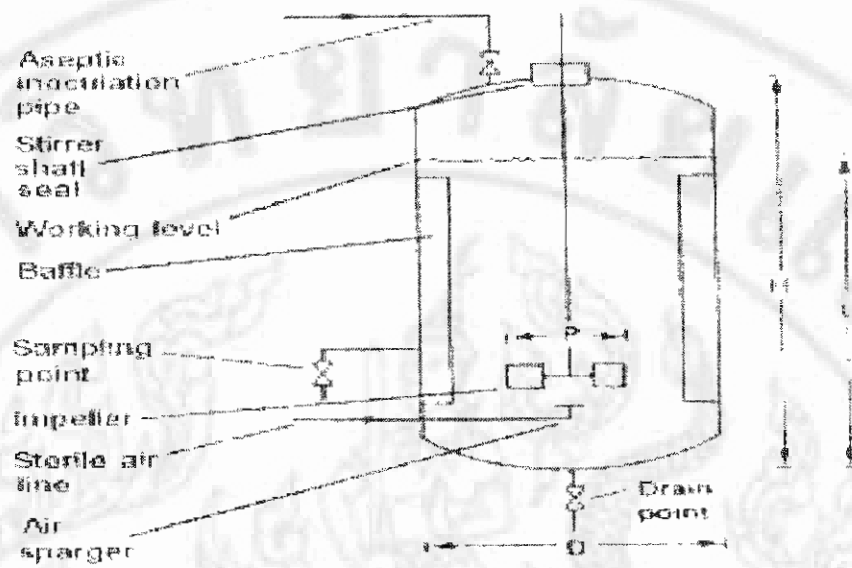
ภาพที่ 1 สภาพการหมักจุลินทรีย์

ที่มา : มาลินี อัครดิษฐเลิศ หน่วยบริหารจัดการความรู้

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ : ไบโอเทค (ระบบออนไลน์)

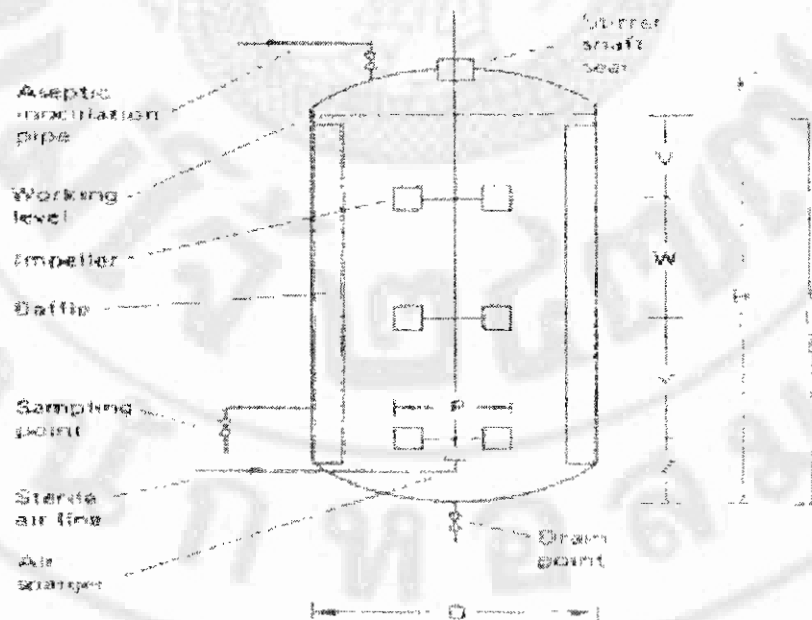
การออกแบบถังหมักที่ดีนั้นต้องใช้ความรู้ในด้านต่างๆ หลายสาขาวิชา คือ จุลชีววิทยา ชีววิทยา ชีวเคมี พันธุศาสตร์ รวมถึงศาสตร์อื่น เช่น วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น เพื่อนำสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนี้มาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์ โดยครอบคลุมตั้งแต่เทคโนโลยีที่ใช้ในการเกษตรกรรม จนถึงการผลิตยารักษาโรค เริ่มตั้งแต่เทคโนโลยีค่อนข้างง่าย เช่น การทำน้ำปลา ซีอิ๊ว แหนม จนถึงเทคโนโลยีที่อาศัยกระบวนการหลายขั้นตอน เช่น การออกแบบและใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษตามที่ต้องการที่ไม่อาจผลิตได้ตามธรรมชาติ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการออกแบบถังหมักกันหลายรูปแบบ แต่ก็มีเพียงไม่กี่แบบเท่านั้นที่ประยุกต์ใช้ได้ดี นอกจากนี้ราคายังค่อนข้างสูงมากหากเทียบกับการที่เกษตรกรหรือบุคคลทั่วไปต้องการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ ระบบการทำงานยังซับซ้อน การซ่อมบำรุงเองทำได้ยาก รวมถึงปริมาณการผลิตต่อครั้งต่อหน่วยยังไม่มากพอที่จะตอบสนองทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์, เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

การออกแบบถังหมักมีหลายรูปแบบ แต่มีเพียงไม่กี่แบบที่ใช้ได้ดีกับกระบวนการหมักที่ต้องการอากาศในระดับอุตสาหกรรม แบบถังหมักที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ถังหมักรูปทรงกระบอกตั้งที่มีใบพัดสำหรับกวนผสมและมีท่อให้อากาศทางด้านล่างได้ใบพัด ตัวอย่างถังหมักที่ประกอบด้วยใบพัด 2 ชุด (ภาพที่ 2) ตัวอย่างถังหมักที่ประกอบด้วยใบพัด 3 ชุด (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 ดังหมักที่ประกอบด้วยใบพัดชุดเดียว

ที่มา : Stanbury and Whitaker, 1984



ภาพที่ 3 ดังหมักที่ประกอบด้วยใบพัด 3 ชุด

ที่มา : Stanbury and Whitaker, 1984

หน้าที่สำคัญของถังหมัก ได้แก่ การทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ผลผลิตตามต้องการ การออกแบบถังหมักเพื่อใช้ในกระบวนการหมักแต่ละชนิดอาจแตกต่างกันไปบ้าง แต่โดยทั่วไปจะต้องมีสมบัติพื้นฐานดังนี้คือ

1. มีความแข็งแรง ทนความร้อนและความดันได้สูง
2. มีระบบการให้อากาศ การกวนผสม และการควบคุมฟอง ที่ดี
3. มีระบบควบคุมอุณหภูมิ และ pH
4. มีที่เก็บตัวอย่างจากถังหมักได้สะดวก โดยไม่เกิดการปนเปื้อน
5. มีการสูญเสียเนื่องจากการระเหยจากถังหมักได้น้อย
6. มีรูปแบบการควบคุมการทำงาน การเก็บเกี่ยวผลผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษาง่าย ใช้แรงงานน้อย
7. ควรใช้กับกระบวนการหมักได้หลายชนิด
8. อยู่ในสภาพปลอดภัยในขณะที่ใช้งานได้เป็นเวลานาน
9. ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษ
10. ด้านในของถังควรมีผิวเรียบ ตัวถังทำจากวัสดุราคาถูกที่สุด แต่มีคุณภาพตามต้องการ

การให้อากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้จุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ส่วนการกวน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารภายในถังหมักกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การเลือกใช้ระบบการให้อากาศและการกวนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของกระบวนการหมัก ในกระบวนการหมักที่ใช้ของเหลวความหนืดต่ำและมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อย สามารถใช้ระบบให้อากาศเป็นฟองเล็กๆ (fine bubble aerator) ได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องกวน มีข้อดีคือใช้อุปกรณ์น้อยกว่าและประหยัดพลังงาน ปกตินิยมใช้กับถังหมักที่มีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (HD ratio) 5:1 เพราะการให้อากาศเพียงอย่างเดียวก็ทำให้เกิดแรงหมุนวนของน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการกวนผสมได้เพียงพอ อาหารที่มีความหนืดสูง จำเป็นต้องใช้เครื่องกวนช่วย แต่เครื่องกวนค่อนข้างไม่จำเป็นสำหรับถังหมักที่ต้องการเพาะเลี้ยงยีสต์หรือจุลินทรีย์สำหรับบำบัดน้ำเสีย

ระบบให้อากาศ หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นำอากาศเข้าสู่ของเหลวภายในถังหมัก มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องสูบลอากาศ เครื่องกรองอากาศและหัวจ่าย (air sparger) การออกแบบหัวจ่ายอากาศเพื่อให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเริ่มต้นตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องทราบว่า จะใช้ระบบให้อากาศเพียงอย่างเดียวหรือใช้กับเครื่องกวนหัวจ่ายอากาศที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 4 แบบ คือ porous sparger, orifice sparger, nozzle sparger และ combined sparger-agitator

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัจฉราและคณะ (2546) ได้ศึกษาการผลิตขยายเชื้อ *Bacillus thuringiensis* โดยใช้ปลาน้ำ (fish soluble extract) จากโรงงานผลิตปลากระป๋องและ dextrose ในถัง fermenter ขนาดจุ 500 ลิตร การทดลองใช้ปลาน้ำ และ dextrose เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ *Bacillus thuringiensis* จำนวน 5 สูตร พบว่า การใช้เวลาในการเพิ่มปริมาณเซลล์สูงสุดเท่ากับ 23.67, 25.33, 24.00, 25.00 และ 26.67 ชั่วโมงตามลำดับ ระยะเวลาสร้างสปอร์และสารพิษ 28.67, 30.33, 29.00, 30.00 และ 32.67 ชั่วโมงตามลำดับ สปอร์มีน้ำหนักแห้ง 3.41, 3.47, 4.25, 4.67 และ 4.18 กรัม/ลิตร ได้ปริมาณสปอร์ 23.89×10^6 , 44.76×10^6 , 30.54×10^6 , 37.09×10^6 และ 31.83×10^6 เซลล์/มิลลิลิตร ได้ทำการทดลองโดยเพิ่มเติม dextrose หลังจากปลูกเชื้อจากสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ปลาน้ำ/dextrose อัตรา 12/10 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ไม่เติม dextrose, ปลาน้ำ/dextrose 12/10 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เติม dextrose 1 ก.ก. 2 ครั้ง ที่ 5 และ 7 ชั่วโมงหลังปลูกเชื้อ, ปลาน้ำ/dextrose 15/10 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เติม dextrose อัตรา 1 ก.ก. 3 ครั้ง ที่ 5, 7 และ 9 ชั่วโมง หลังปลูกเชื้อ, ปลาน้ำ/dextrose 15/10 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เติม dextrose 5 ครั้ง ที่ 5, 7, 9, 11 และ 13 ชั่วโมงหลังปลูกเชื้อ ใช้ระยะเวลาเพิ่มปริมาณเซลล์สูงสุด 23.33, 23.33, 24.00 และ 27.66 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ใช้สร้างสปอร์และสารพิษ 29.33, 28.66, 31.00 และ 33.00 ชั่วโมง ตามลำดับ ให้ผลผลิตสปอร์ 38.22×10^6 , 44.76×10^6 , 53.35×10^6 และ 66.63×10^6 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้น้ำหนักแห้งของผลผลิต 4.10, 4.24, 4.65 และ 4.93 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

การทดลองเพื่อศึกษาการเลี้ยงเชื้อ *Brucella abortus* strain 1119-3 แบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous culture) โดยเลี้ยงเชื้อ *Brucella abortus* strain 1119-3 ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 25 ลิตรในถังเลี้ยงเชื้อขนาด 40 ลิตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บเชื้อ 24 ลิตร เหลือเชื้อไว้ปริมาณ 1 ลิตร เติมอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ 24 ลิตรเข้าไปเลี้ยงเชื้อต่ออีก จนถึงชั่วโมงที่ 72 เก็บเชื้อและเติมอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่เช่นเดิม เลี้ยงเชื้อต่ออีกจนถึงชั่วโมงที่ 96 เก็บเชื้อทั้งหมด ในระหว่างการเลี้ยงเชื้อทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง มาตรวจวัดความเข้มข้นของเชื้อเป็นเปอร์เซ็นต์ packed cell volume (% PCV) พบว่าจะได้ความเข้มข้นสูงสุดที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์ หลังการเลี้ยงเชื้อ ชั่วโมงที่ 38 ชั่วโมงที่ 72 และชั่วโมงที่ 96 นำเชื้อจากการเก็บชั่วโมงที่ 48 ชั่วโมงที่ 72 และชั่วโมงที่ 96 และเชื้อจากการนำทั้งสามตัวอย่างรวมกัน เตรียมเป็นแอนติเจนชนิดโรสเบงกอล แอนติเจนชนิดทดสอบบนแผ่นกระจก และแอนติเจนชนิดทดสอบในหลอดแก้ว ทดสอบปฏิกิริยาการจับกลุ่ม (agglutination) กับซีรัมเปรียบเทียบกับแอนติเจนที่สำนักเทคโนโลยีชีวภัณฑ์สัตว์ผลิตโดยเลี้ยงเชื้อแบบคราวเดียว (batch culture) พบว่าคุณภาพของแอนติเจนที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแบบคราวเดียว และกึ่งต่อเนื่องเท่าเทียมกัน

สำนักเทคโนโลยีชีวภัณฑ์สัตว์ ผลิตภัณฑ์เจนบรูเซลล่าชนิดโรสเบงกอล แอนติเจนบรูเซลล่าชนิดทดสอบบนแผ่นกระจก และแอนติเจนบรูเซลล่าชนิดทดสอบในหลอดแก้ว ตามวิธีมาตรฐานของ Office International des Epizooties, OIE, (2000) สำหรับใช้ทดสอบกับซีรัมโค กระบือ เพื่อวินิจฉัยโรคทั้งติดต่อที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Brucella abortus* โดยการเลี้ยงเชื้อในถังหมักแบบคราวเดียว (batch culture) ซึ่งทำในระบบปิดที่มีสารอาหารเริ่มต้นปริมาณจำกัด เมื่อใส่เชื้อที่ต้องการเพาะเลี้ยงลงไปในระบบแล้ว จะไม่มีการเติมสารอาหารใดๆ เพิ่มลงไปอีก (สมใจ, 2545) การผลิตแอนติเจนบรูเซลล่า ใช้เวลาในการเตรียม seed สำหรับเพาะเลี้ยงเชื้อ 8 วัน และเลี้ยงเชื้อในถังนาน 48 ชั่วโมงต่อชุด ซึ่งในการเลี้ยงแต่ละครั้งได้แอนติเจนปริมาณน้อย ดังนั้นจึงต้องเลี้ยงเชื้อหลายๆ ชุด เพื่อให้ได้ปริมาณแอนติเจนเพียงพอสำหรับการผลิต 1 ชุดบรรจุ และในการเลี้ยงแต่ละชุดจำเป็นต้องเตรียม seed ใหม่ และเตรียมถึงเลี้ยงเชื้อให้ปราศจากเชื้อ (sterile) ทุกครั้ง การทดลองนี้เป็นการเลี้ยงเชื้อ *Brucella abortus* strain 1119-3 แบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งคล้ายการเลี้ยงเชื้อแบบ batch culture แต่เมื่อความเข้มข้นของเชื้ออยู่ในระดับที่ต้องการแล้ว เก็บเชื้อประมาณ 24/25 แล้วเติมอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีปริมาณเท่าเดิม โดยมีเชื้อปริมาณ 1/25 ที่เหลือเป็นเชื้อเริ่มต้น วิธีการนี้นิยมกับการศึกษาจุลินทรีย์โดยไม่จำเป็นต้องเตรียม seed และถึงเลี้ยงเชื้อใหม่ทุกครั้งซึ่งเป็นการประหยัดพลังงาน แรงงานและเวลา (อนันต์และคณะ)

การวิจัยเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันดิบระหว่างในระดับขวดเขย่ากับในถังหมักขนาด 3 ลิตร โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบ และสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ รวม 4 ชนิดคือ *Bacillus* sp. B 3 – 1, *Pseudomonas* sp. C 1 – 2, *Yarrowia* sp. D 2 – 1 และ *Acinetobacter calcoaceticus* TISTR 360, ทำการทดลองในถังหมัก (Fermenter) รูปสี่เหลี่ยมขนาด 3 ลิตร โดยมีการศึกษาปัจจัยแปรผันต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนของหัวเชื้อ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ อัตราการให้อากาศ และการเติมสารอาหารแก่ระบบ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบ (น้ำมันดิบ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้หัวเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในอาหาร BH broth 3 ลิตร) ได้ดีที่สุด คือ ที่สภาวะอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 8.0 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m. (ปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) โดยที่การเติมสารอาหารอย่างต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีกว่าเมื่อไม่มีการเติมสารอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 97.91 เปอร์เซ็นต์ และ 90.88 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบระหว่างในระดับถังหมักขนาด 3 ลิตร กับในระดับขวด

เขย่าที่สภาวะเดียวกัน ภายในระยะเวลา 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ภัทรา, ระบบออนไลน์)

การศึกษาวิจัยการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียโปรไบโอติกในถังหมักให้ได้ปริมาณมากและต้นทุนต่ำเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus plantarum* CR1T5 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติกแบคทีเรียที่ดีเนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิล (*Aeromonas caviae*, *A. hydrophila* และ *Streptococcus* sp.) ที่ใช้ในการทดสอบได้ จึงทำการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในระดับฟลาสก์เขย่า ซึ่งจากการทดลองพบว่าเชื้อเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี pH 6.5 เมื่อมีการเขย่าที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที เมื่อทำการแทนที่น้ำตาลกลูโคสในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ด้วยกากน้ำตาล พบว่าเชื้อ CR1T5 เจริญได้ดีที่สุดใน MRS medium ที่มีกากน้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการแทนที่ peptone และ meat extract ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ด้วยนมผงพร่องมันเนย พบว่าเชื้อเจริญได้ดีที่สุดเมื่อมีนมผงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญที่ได้นี้ไปปรับใช้กับการเลี้ยงเชื้อในถังหมัก พบว่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งประกอบด้วยนมสดพร่องมันเนยที่เติม yeast extract ด้วย 0.4 เปอร์เซ็นต์ ปรับ pH 6.5 และอัตราการกวน 100 รอบต่อนาทีเมื่อนำเชื้อมาทำเป็นผงแห้งพบว่าเชื้อสามารถทนต่อกระบวนการ lyophilization ได้ดี เชื้อผงที่เก็บเป็นเวลา 1 เดือนในตู้เย็นยังคงอัตราการรอดชีวิตเท่าเดิม แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิห้อง เชื้อตายลงประมาณ 2 log number โดยยังคงเหลือเซลล์ที่รอดชีวิตอยู่ไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรซึ่งมีปริมาณมากพอที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (อติภัทรและคณะ, 2547)

การศึกษานวทางการสร้างและออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารสำหรับครัวเรือนเพื่อสร้างและออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนก๊าซหุงต้มที่ใช้ในปัจจุบัน โดยได้สร้างถังหมักก๊าซขนาด 60 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 34.76 เซนติเมตร สูง 52 เซนติเมตรโดยคำนึงถึงความเหมาะสมสำหรับชุมชน การประหยัดทางด้านการลงทุน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน บำรุงรักษาง่าย มีความปลอดภัยในการใช้งาน และผู้ทำการหมักก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารนั้น หลังจากการปฏิบัติการต้องไม่เกิดการเจ็บป่วย ดังนั้น ถังหมักก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารสำหรับชุมชนจะต้องมีลักษณะและขนาดของถังว่ามีความเหมาะสมกับสภาพของชุมชน ระบบการนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาใช้ ระบบการคลุกเคล้าหรือการทำให้ขยะเศษอาหารที่อยู่ในถังหมักมีการเคลื่อนให้ทุกส่วนมีการผสมเข้ากันได้ ความดันที่จะเกิดขึ้นเพื่อส่งก๊าซ กลิ่นที่เกิดขึ้นและระบบการจัดเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น และทำการทดสอบการหมักเศษอาหารโดยเริ่มต้นจากน้ำเชื้อจากมูลสุกร และใส่เศษอาหารเข้าไปในถังหมักวันละ 1 กิโลกรัมและวัด

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากการศึกษพบว่าเศษอาหารในถังหมัก 1 กิโลกรัมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพออกมาได้เฉลี่ย 5,800 ลูกบาศก์เซนติเมตรและนำก๊าซที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบของก๊าซโดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph พบว่าก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบดังนี้ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) 42.76 เปอร์เซ็นต์, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 38.0 เปอร์เซ็นต์, ไนโตรเจน (N_2) 19.2 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ อีก 0.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้นี้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้ (ชัยวิชิตและวัชรพล, 2549)

ศึกษาการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลในขนาดถังหมัก 1,500 ลิตรแบบเพิ่มปริมาตรเป็นทวีคูณ เริ่มต้นจากความเข้มข้นของน้ำตาลอินเวิร์ตร้อยละ 16 และยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* RSU No.10 จำนวนเซลล์เท่ากับ 1.11×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในขนาดเชื้อเท่ากับ ร้อยละ 10 พบว่าได้แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 8.5 โดยปริมาตรในชั่วโมงที่ 12 ของการหมัก มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนสูงสุดของยีสต์ระดับ 10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลการขยายสู่การหมักขนาด 1,500 ลิตร แบบต่อเนื่องสองถัง ได้แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 8.0 โดยปริมาตรในชั่วโมงการหมักที่ 8 มีจำนวนเซลล์เป็นเท่ากับ 1.53×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร อัตราผลผลิตเท่ากับ 7.9 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการหมักเท่ากับร้อยละ 78 โดยระบบยังคงมีความเสถียรมากกว่าหนึ่งสัปดาห์ (ยุพนินธุ พ่วงวีระกุล, ระบบออนไลน์)

การทำปุ๋ยหมักจากเศษขยะที่เป็นสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ วัสดุที่ใช้คือเศษอาหารผสมกับฟางและขยะที่เป็นสารอินทรีย์ (ไม่รวมเศษอาหาร) ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะที่ค่ายทหารสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีถังหมักทั้งหมด 8 ถัง แต่ละถังมีขนาด $1.0 \times 0.5 \times 0.5$ เมตร โดยถังหมัก 4 ถังใช้สำหรับการหมักเศษอาหารผสมกับฟาง ส่วนอีก 4 ถังใช้สำหรับการหมักขยะที่เป็นสารอินทรีย์ (ไม่รวมเศษอาหาร) ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะเศษขยะที่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากการคัดแยกขยะที่หลุมฝังกลบขยะของค่ายทหารสุรนารี อัตราการผสมระหว่างเศษอาหารกับฟาง คือ 1/0.4 โดยปริมาตร หรือคิดเป็น 1/4.77 โดยน้ำหนัก ส่วนอัตราการผสมระหว่างสารอินทรีย์กับตะกอนจากบ่อเกรอะ คือ 1/7.06 โดยปริมาตร หรือคิดเป็น 1/1.58 โดยน้ำหนัก การทดลองนี้ทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้เวลาหมักทั้งหมด 90 วัน ส่วนอีก 3 การทดลองใช้เวลาทั้งหมด 100 วัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนเริ่มต้นของคาร์บอน/ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 28-31/1 มีการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ ทางเคมี และการวิเคราะห์หาแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliform bacteria) ตลอดจนการทดลอง ส่วนการสิ้นสุดการทดลองพิจารณาจากอุณหภูมิภายในถังหมักมีค่าเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ, อัตราส่วนสุดท้ายของคาร์บอน/ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 15-20/1, วัสดุในถังหมักมีสีดำ, ของแฉะระเหยมีค่าต่ำและมีอัตราการตายของแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด 99% จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าเศษอาหารผสมกับฟางทำให้เกิด

อุณหภูมิสูงสุดภายในถังหมักเท่ากับ 52-56 องศาเซลเซียส ส่วนขยะที่เป็นสารอินทรีย์ (ไม่รวมเศษอาหาร) ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายในถังหมักเท่ากับ 55-60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสุดท้ายของคาร์บอน/ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 14-19/1 อัตราการตายของแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่า 99.98 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเศษอาหารผสมกับฟาง และ 99.99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขยะที่เป็นสารอินทรีย์ (ไม่รวมเศษอาหาร) ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปุ๋ยหมักและเป็นวิธีที่ประหยัดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (สุดธิดา, 2545)

การผลิตแอลฟา-อะไมเลสโดย *Bacillus subtilis* TISTR 25 ในระดับขวดเขย่าและถังหมักแบบไม่ต่อเนื่องขนาด 5 ลิตร สูตรอาหารที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ระดับขวดเขย่าประกอบด้วยแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ แป้งมันสำปะหลัง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยกรดซัลฟูริกที่มีปริมาณไนโตรเจน 0.05 เปอร์เซ็นต์ KH₂PO₄ 0.3 เปอร์เซ็นต์(w/v), MgSO₄·7H₂O 0.02 เปอร์เซ็นต์(w/v) และ CaCl₂·2H₂O 0.017 เปอร์เซ็นต์(w/v) ภาวะที่เหมาะสมของการเลี้ยงเชื้อคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 250 rpm การผลิตเอนไซม์ในถังหมักแบบไม่ต่อเนื่อง 5 ลิตร มีสูตรอาหารเหมือนกับการเลี้ยงในระดับขวดเขย่า โดยมีภาวะควบคุมเพิ่มเติมคือปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 (v/v) และอัตราการให้อากาศ 1.0 vvm การกรองด้วยวิธีอัลตราฟิวเตรชั่นและตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้เอนไซม์บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น 3.5 เท่า เอนไซม์ที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่ากับ 7.0 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อปมเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใน 0.2 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 แอคติวิตีของเอนไซม์จะลดลงครึ่งหนึ่งที่เวลา 35 นาที และ 60 นาที เมื่อไม่มีการเติม และเติมแคลเซียมคลอไรด์ 5 mM ตามลำดับ ค่า Km และ Vmax ของการย่อยแป้งมันฝรั่งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 0.64 mg/ml และ 2.78 x 10⁻² nmol/min เอนไซม์ผงและเอนไซม์เหลวสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 และ 4 องศาเซลเซียส โดยสูญเสียแอกติวิตีเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 เดือน *Bacillus subtilis* TISTR 25 สามารถผลิตแอลคาไลน์โปรตีนเอสได้ในปริมาณสูงเมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สูตรอาหารที่ประกอบด้วย ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมักในการผลิตแอลคาไลน์โปรตีนเอสคือ ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์(v/v) อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1vvm อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 250 rpm อุณหภูมิในการเลี้ยงเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส pH เริ่มต้นของการเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 7.0 เชื้อสามารถผลิตเอนไซม์ได้สูงสุด 174.82 ยูนิต/กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ในช่วงเวลาที่ 84 *Pseudomonas aeruginosa* สามารถผลิตไลเปสได้เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตรโดยใช้สูตรอาหารที่ประกอบด้วย

(NH₄)₂SO₄ 0.13 เปอร์เซ็นต์ (w/v), Fructose 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v), K₂HPO₄ 0.09 เปอร์เซ็นต์ (w/v) KH₂PO₄ 0.06 เปอร์เซ็นต์ (w/v), MgSO₄·7H₂O 0.02 เปอร์เซ็นต์ (w/v) และ Yeast extract 0.01 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในปริมาตรทั้งสิ้น 4 ลิตร ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมักในการผลิตไลเปสคือ ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (v/v) อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 vvm, อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการเลี้ยงเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.0 เชื้อสามารถผลิตไลเปสได้สูงสุด 1,476.50 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ในช่วงเวลาที่ 48 ชั่วโมงที่ 48 นำเอนไซม์มากรองด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชัน และทำให้เป็นผงด้วยวิธีไลโอไฟไลเซชัน ได้แอกติวิตีของเอนไซม์ผงเท่ากับ 98.04 ยูนิตต่อมิลลิกรัมเอนไซม์ การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสของเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ *T.reesei* สายพันธุ์ QM สายพันธุ์ C และเชื้อ *A. pullulans* พบว่า *T.reesei* สายพันธุ์ QM ผลิตเอนไซม์หลักคือเซลลูเลสได้แอกติวิตีสูงสุด 0.296 U/ml ขณะที่ไซแลนเนสเพียงเล็กน้อย (0.089 U/ml) *T.reesei* สายพันธุ์ C ผลิตเอนไซม์ผสมทั้ง 2 ได้ดีมากคือเซลลูเลสสูงที่สุด 5.365 U/ml ขณะที่ *A. pullulans* ผลิตไซแลนเนสเป็นหลักได้ถึง 7.344 (U/ml) แต่ผลิตเซลลูเลสได้ได้น้อยมากในระดับ 0.091 U/ml ดังนั้นจะเห็นได้ว่า *T.reesei* สายพันธุ์ C เหมาะสำหรับการผลิตเอนไซม์ผสมที่มีแอกติวิตีของทั้ง 2 เอนไซม์ได้ดีที่สุด เมื่อนำ crude enzyme มาตกตะกอนด้วย (NH₄)₂SO₄ 80 เปอร์เซ็นต์ ได้เอนไซม์เซลลูเลสที่มี endoglucanase สูงกว่า exoglucanase และ beta-glucosidase อยู่มาก เนื่องจากเชื้อ *T.reesei* สายพันธุ์ C เป็นเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ทั้งสองจึงได้มีการเพิ่มกำลังการผลิตเป็นขนาด 1 ลิตร และในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์จาก *T.reesei* สายพันธุ์ C คือที่ pH 5.0 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสดีที่สุด โดยเฉพาะ endoglucanase มีแอกติวิตีสูงที่สุด การนำเอนไซม์ที่ผลิตได้ทั้งห้าชนิดมาไว้ในขั้นตอนต่าง ๆ ในการเตรียมผ้าสำหรับการลอกแป้ง เอนไซม์อะไมเลสที่ผลิตขึ้นไม่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับการลอกแป้งบนผ้าทอ จำเป็นต้องใช้เอนไซม์อะไมเลสที่สามารถลอกแป้งที่อุณหภูมิสูงได้ ในส่วนขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกสามารถใช้เอนไซม์กำจัดสิ่งสกปรกได้ผลดีเทียบเท่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสามารถให้เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นกำจัดสิ่งสกปรกได้ผลดีในแง่การดูดซึมน้ำเทียบเท่าการใช้เอนไซม์ที่จัดหามาสำหรับการฟอก เอนไซม์ที่ใช้ฟอกผ้ายังมีประสิทธิภาพการฟอกให้ผ้าขาวไม่เท่ากับการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสเป็นเอนไซม์ชนิดเดียวที่สามารถฟอกผ้าให้ขาวได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ (นภาและคณะ, 2544)

ต้นแบบถังหมักผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์แม่ใจ (Maejo Fermenter)

ในการวิจัยส่วนนี้จะศึกษาถึงกระบวนการ สภาพการหมัก รวมถึงระบบของถังหมักเพื่อผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ชุมชนและบุคคลทั่วไปสามารถผลิตใช้เองได้ในบ้านเรือน โรงเรียน โรงแรม ตลาดสดหรือในพื้นที่ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อมโดยคำนึงถึงความเหมาะสมสำหรับชุมชนบ้านเรือนทั่วไป ราคาถูก ประหยัดงบประมาณการลงทุน มีอายุการใช้งานยาวนาน บำรุงรักษาง่าย มีความปลอดภัยและสะดวกในการใช้งาน ผู้ทำการหมักผลิตหัวเชื้อเข้าใจง่าย ไม่สิ้นเปลืองเวลาและได้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณภาพที่ดีพอสมควร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้ ดังนั้น ถังหมักผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับชุมชนทั่วไปจะต้องคำนึงถึงลักษณะและขนาดของถังว่ามีความเหมาะสมกับสภาพของชุมชนรวมถึงระบบการผลิตต่างๆ เช่น ระบบการเติมอากาศ ระบบการรับแหล่งน้ำเข้าถังซึ่งช่วยประหยัดเวลาและแรงงาน ระบบการกวน การคลุกเคล้าหรือการผสมสารอาหารกับจุลินทรีย์ในถังหมัก ระบบระบายอากาศจากภายในถังสู่ภายนอกและระบบการจัดเก็บและบรรจุหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้เหมาะสมกับชุมชนหรือบุคคลทั่วไปมีลักษณะเฉพาะดังนี้



ภาพที่ 4 ถังหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์แม่ใจ (Maejo Fermenter)

ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดลักษณะเฉพาะของถังหมักแม่ใจ (Maejo Fermenter)

รายการ	รายละเอียด ขนาดหรือรูปร่างทางกายภาพ
ถังหมัก	เป็นถังรูปทรงกระบอกขนาดบรรจุ 2,000 ลิตรเจาะรูที่ฝาเกลียว ปิดด้านบนเพื่อติดตั้งชุดระบายอากาศสู่ภายนอก (check valve) โดยที่อากาศภายนอกไม่สามารถเข้าสู่ถังได้ ถ้าเป็นระบบเดิม อากาศให้เจาะอีกหนึ่งรูบริเวณตรงกลางด้านบนของถังสำหรับต่อ ท่อออกซิเจนจากเครื่องผลิตออกซิเจนที่ติดตั้งอยู่ด้านบนถัง เช่นกันโดยวางอยู่ตรงข้ามกับฝาเกลียวปิดของถัง
ฐานวางถังหมัก	ฐานสี่เหลี่ยมขนาดพอดีถัง สูงประมาณ 1.5 ฟุต สำหรับตั้งวางถัง และเป็นตัวติดตั้งระบบไฟฟ้าต่างๆ เพื่อใช้สำหรับการหมักและจะ ช่วยในระบบการบรรจุหัวเชื้อจุลินทรีย์หรือการนำไปใช้เพราะมี ความสูงของฐานวางถังเพียงพอ
ปั้มน้ำหอยโข่งและชุดวนผสมของเหลวในถัง	ใช้เครื่องขนาด 1 แรงม้า 1 เครื่อง ออกแบบติดตั้งเพื่อให้บริการของเหลวได้ 2 แหล่ง คือจากในตัวถังหมักเอง (ด้านล่างถัง) และ จากถังผสมเล็กภายนอกเพื่อประหยัดทั้งเวลาและแรงงานในการ เติมน้ำอาหารและหัวเชื้อทั้งช่วยวนผสมของเหลวในถังหมักแทน การกวนอีกด้วย
ถังผสม	ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตรใช้สำหรับละลายกากน้ำตาล, ผสม สารอาหารรวมทั้งหัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยให้การผลิตทำได้ง่ายขึ้น โดยถังเจาะรูใส่ท่อตรงขนาด 1 นิ้วต่อกับสายยางที่เชื่อมกับท่อรับ แหล่งของเหลวของเครื่องสูบน้ำ
ท่อและอุปกรณ์เสริมต่างๆ	ใช้ท่อพีวีซี (PVC) ข้อต่อ ข้ออ สามทาง เกลียวนอก เกลียวใน ฯลฯ ที่ได้มาตรฐานขนาด 1 นิ้วทั้งหมด
เครื่องผลิตออกซิเจน (ในระบบเดิมอากาศ)	ใช้เครื่องผลิตออกซิเจนที่มีตัวกรองอากาศเพื่อป้องกันการ ปั่นเปื้อน และมีวาล์วปรับและระดับแสดงอัตราการให้อากาศ

จากตารางดังกล่าวข้างต้น ทำให้กำหนดคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะต่างๆ ของถัง รวมถึงระบบการติดตั้งถังหมักซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ถังหมัก (Fermentation tank) เป็นถังพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกคุณภาพดี เหนียว เป็นเนื้อเดียวกัน แข็งแรง หนา สีส้มลอกละลายออกจากเนื้อถัง ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดที่ผลิตจากจุลินทรีย์ได้ โดยใช้ขนาดปริมาตร 2,000 ลิตร มีฝาเกลียวปิดได้อย่างมิดชิดและมีเกลียวต่อท่อเข้า-ออกได้ 3 ทาง (สำหรับวนของเหลว (ด้านบนและด้านล่าง) และก๊อปปรรจุหัวเชื้อจุลินทรีย์) และสามารถรองรับการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ 1,800 ลิตรของถังและมีอายุการใช้งาน 10 ปี

2. ฐานวางถังหมัก (Stand) เป็นฐานรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดพอดีกับถัง สูงประมาณ 1.5 ฟุต มีตารางเหล็กย่อยภายในทรงสี่เหลี่ยมเพื่อช่วยกันรองรับน้ำหนักของถังหมัก และติดตั้งสะพานไฟ ปลั๊กไฟ และสวิตช์เปิด-ปิดไว้กับด้านหน้าตัวฐาน

3. ปั๊มน้ำหอยโข่ง (Centrifugal Pump) ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ตัวหมุนหรือตัวพัดซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้ของเหลวที่อยู่ในเครื่องสูบน้ำมีการเคลื่อนที่แบบหมุน สำหรับอีกส่วนก็คือตัวเครื่องสูบน้ำเอง ซึ่งจะถูกออกแบบให้ของเหลวหมุนอย่างรวดเร็ว และออกจากเครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันและความเร็วของของเหลวนี้สูงกว่าเมื่อของเหลวเข้าสู่เครื่อง ฉะนั้นท่อที่ต่อน้ำออกจากเครื่องไปยังด้านบนของถัง จะต้องรองรับความเร็วของของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อนี้ได้ซึ่งก็คือท่อพีวีซี (PVC) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วเครื่องสูบน้ำจะติดตั้งอยู่กับฐานของถังหมักใช้เพียง 1 เครื่อง ขนาด 1 แรงม้า ติดตั้งโดยออกแบบวาล์วให้รับแหล่งของเหลวได้ 2 ทางคือ แหล่งของเหลวจากภายนอก (ถังผสมหรือ small mixing tank) เพื่อสะดวกในการนำสารอาหาร (เช่น กากน้ำตาล, น้ำตาลทรายแดง, growth factors ฯลฯ) น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผสมจนเข้ากันดีแล้วในถังผสม บ่มเข้าสู่ถังหมัก อีกแหล่งหนึ่งคือของเหลวในถังหมักเองเพื่อที่จะสูบน้ำทางด้านล่างวนผสมไปด้านบนของถังซึ่งช่วยในการกระจายตัวของอาหารและเชื้อจุลินทรีย์ และยังจะช่วยเพิ่มพื้นที่ของของเหลวในการสัมผัสกับอากาศภายในถังหมัก

4. เครื่องผลิตออกซิเจน (Oxygen Producing Machine) ติดตั้งอยู่ด้านบนถังเพื่อผลิตออกซิเจนป้อนเข้าในถังหมักให้จุลินทรีย์ได้ใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ โดยต่อท่อพีวีซีจากตัวเครื่องด้านบนลงจนสุดด้านล่างถัง

5. ถังผสม (small mixing tank) เป็นถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร เจาะรูใส่ท่อตรงเชื่อมต่อกับสายยาง สำหรับผสมสารอาหาร น้ำและจุลินทรีย์ให้เข้ากันก่อนบ่มเข้าสู่ถังหมัก การผสมสารอาหารต่างๆ ในถังหมัก จะเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก ไม่สามารถปฏิบัติงานคนเดียวได้ อีกทั้งการผสมในถังหมักสารอาหารต่างๆ เช่น กากน้ำตาลที่เหนียว, ชัน อาจละลายยาก การใช้ถังผสมเล็ก

จะช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันได้ดีและยังช่วยทุ่นแรง ประหยัดเวลาและแรงงานในการยกส่วนผสมขึ้นไปผสมบนถังหมัก

6. ท่อและอุปกรณ์เสริมต่างๆ (Pipe and Supporting) เป็นท่อต่อเชื่อมระหว่างจุดซึ่งใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ประมาณ 8 เมตร นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เสริมในการต่อ เช่น ข้อต่อตรง, ข้องอ 90 องศา, สามทาง, เกลียวนอก, เกลียวใน, วาล์วเปิด-ปิด, ข้อลด, ก้อนน้ำ, สายยาง, เทปพันเกลียวและกาว รวมถึงเชือกวาล์วที่ติดไว้ที่ฝาปิดถังเพื่อระบายก๊าซในถังสู่ภายนอก ซึ่งช่วยไม่ให้ถังอัดก๊าซไว้จนระเบิดและไม่เกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอากาศภายนอกถัง

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำถังหมัก

- 1.1 อุปกรณ์การวิจัยมีโครงสร้างโรงเรือนและสิ่งอำนวยความสะดวก(มีแล้ว)
- 1.2 ถังพลาสติกสำหรับหมักยีส่ห่อ D-SAVE ขนาด 2,000 ลิตรและขนาด 200 ลิตร
- 1.3 เครื่องสูบน้ำขนาด 1 แรงม้า
- 1.4 เครื่องผลิตออกซิเจนแบบมีตัวกรอง
- 1.5 ฐานสำหรับวางถังหมัก
- 1.6 ถังพลาสติกสำหรับผสมขนาด 150 ลิตร
- 1.7 ถังพลาสติกมีฝาปิดสำหรับหมักขยะ ขนาด 20 ลิตร
- 1.8 ท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว
- 1.9 ปลั๊กไฟ, สายไฟ, เต้าเสียบ, สวิตช์เปิด-ปิดและสะพานไฟ
- 1.10 อุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น
 - ข้อต่อตรง
 - ข้องอ 90 องศา
 - สามทาง
 - เกลียวนอก
 - เกลียวใน
 - วาล์วเปิด-ปิด
 - ข้อลด
 - ก๊อกน้ำ
 - สายยาง
 - เทปพันเกลียว
 - กาว
 - เชื้อควาล์ว
 - ปลอกรัดสายยาง
 - ไม้พาย

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ CONSORT รุ่น C831T
- 2.2 หม้ออบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) ยี่ห้อ HIRAYAMA รุ่น HV-85
- 2.3 ตู้อบแห้ง (Hot air oven) ยี่ห้อ MEMERT รุ่น UE 500
- 2.4 เตาให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ VELO รุ่น ARE
- 2.5 เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ PRECISA รุ่น XB4200C
- 2.6 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ PRECISA รุ่น XT220A
- 2.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น WB22
- 2.8 เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ ยี่ห้อ TKA รุ่น ROS 700
- 2.9 ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 10-100 ไมโครลิตร ยี่ห้อ SOCOREX รุ่น ACURA 825.0100
- 2.10 ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร ยี่ห้อ SOCOREX รุ่น ACURA 825.0100
- 2.11 ตู้เย็น 4-10 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ MITSUBIAHI รุ่น MR-F41R-SL
- 2.12 เครื่องวัดความหวาน (Hand Refractometer) ยี่ห้อ OPTIK รุ่น B-32
- 2.13 เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) ยี่ห้อ VELP รุ่น ZX3
- 2.14 กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX511F
- 2.15 เตาหย่อยสำหรับวิเคราะห์ไอโอดี ยี่ห้อ VELP รุ่น ECO6 S/N25703
- 2.16 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ไอโอดี ยี่ห้อ VELP รุ่น FOC 255I
- 2.17 กระดาษวัดพีเอช บริษัท Merck, Germany
- 2.18 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.19 เครื่องแก้ว

3. สารเคมี

- 3.1 แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Merck, Germany
- 3.2 โพแทสเซียม ไอโอไดด์ (KI) บริษัท Merck, Germany
- 3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Merck, Germany
- 3.4 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) บริษัท Merck, Germany
- 3.5 ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) บริษัท Merck, Germany
- 3.6 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Panreac Quimica, Spain
- 3.7 แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) บริษัท Merck, Germany

- 3.8 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) บริษัท Fluka, USA
- 3.9 เฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Merck, Germany
- 3.10 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) บริษัท Merck, Germany

4. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- 4.1 อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวนิวเทรียนต์ (Nutrient broth) บริษัท Merck, German
- 4.2 อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวทริปติกซอย (Trypticase soy broth) บริษัท Merck, German
- 4.3 กากน้ำตาล (Molasses) บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด
- 4.4 แกลบ, รำละเอียด, มูลวัวแห้ง สำหรับหมักขยะแบบแห้ง

5. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

- 5.1 Uncultured *Bacilli bacterium* (MJUT026)
- 5.2 *Bacillus thuringiensis* (MJUT033)
- 5.3 *Bacillus cereus* (MJUT076)
- 5.4 *Bacillus subtilis* (MJUT120)
- 5.5 *Bacillus licheniformis* (MJUT122)
- 5.6 *Pseudoburkholderia malthae* (MJUT138)
- 5.7 *Bacillus* sp. (MJUT173)
- 5.8 *Bacillus amyloliquefaciens* (PB004)
- 5.9 *Bacillus* sp. (PB014)

6. ขยะและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

- 6.1 เศษอาหารจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่
- 6.2 เศษใบไม้แห้งและเศษหญ้าสดจากโครงการเกษตรทฤษฎีใหม่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 6.3 น้ำเสียโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
- 6.4 น้ำเสียโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกรภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด
อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นสำหรับทดสอบการบำบัดขยะและน้ำเสียในเชิงพาณิชย์

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง โปรตีน และไขมัน จากงานวิจัยการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสีย ได้แก่ *Bacilli bacterium* (MJUT026), *Bacillus thuringiensis* (MJUT033), *Bacillus cereus* (MJUT076), *Bacillus subtilis* (MJUT120), *Bacillus licheniformis* (MJUT122), *Bacillus sp.* (MJUT173), *Pseudoburkholderia malthae* (MJUT138), *Bacillus amyloliquefaciens* (PB004) และ *Bacillus sp.* (PB014) ที่เจริญในอาหารแข็งมาอย่างละ 1 รูป เลี้ยงแยกกันในอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อตั้งต้น ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยเชื้อรหัส MJUT026, MJUT033 และ MJUT076 เลี้ยงในอาหารเหลวทริปติกชอย (Tryptic soy broth) (ภาคผนวก ก) เชื้อรหัส MJUT120, MJUT122, MJUT138, PB004 และ PB014 เลี้ยงในอาหารเหลวนิวเทรียนต์ (Nutrient broth) (ภาคผนวก ก) นำไปเขย่าเพื่อเพิ่มปริมาณ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้ไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม

- 1.1 เชื้อทดสอบการบำบัดขยะ ได้แก่ เชื้อเดี่ยวรหัส MJUT076, MJUT138, และเชื้อผสม MJUT033, MJUT076, MJUT138, MJUT122 และ PB004
- 1.2 เชื้อทดสอบการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ เชื้อเดี่ยวรหัส MJUT026, MJUT076, PB014, เชื้อผสม 1 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014) เชื้อผสม 2 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014)

2. การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้นในระดับอุตสาหกรรมสำหรับทดสอบการบำบัดขยะและน้ำเสียในเชิงพาณิชย์

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากข้อ 1.1 และ 1.2 ทั้งเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสมสูตรต่างๆ มาผลิตในระดับอุตสาหกรรม ทำการขยายเชื้อจุลินทรีย์สำหรับทดสอบน้ำเสียกับกากน้ำตาลในถังหมักขนาด 2,000 ลิตร ทำการหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ส่วนการทดสอบขยะใช้ถัง ขนาด 200 ลิตร และหมักแบบไม่เติมอากาศ ขั้นตอนการเตรียมถังหมักและการขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์มีดังนี้

2.1 การเตรียมถังหมักจุลินทรีย์

นำถังที่ติดตั้งเชื้อควาล์วขนาด 200 และ 2,000 ลิตร มาทำความสะอาด झाเชื้อด้วยน้ำร้อนหรือคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง ประกอบถังหมักจุลินทรีย์กับอุปกรณ์ต่าง ๆ (ภาคผนวก ค) ถังหมักจุลินทรีย์ทดสอบน้ำเสีย เตรียมโดยละลายกากน้ำตาล 155-165 กิโลกรัม เติมน้ำให้ได้ระดับปริมาตร 1,800 ลิตร ถังหมักจุลินทรีย์ทดสอบขยะ เตรียมโดยละลายกากน้ำตาล 15-20 กิโลกรัม เติมน้ำให้ได้ระดับปริมาตร 180 ลิตร (เหลือพื้นที่ว่าง 20 เปอร์เซ็นต์ของถัง)

2.2 การขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์

เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังหมักจุลินทรีย์ที่เตรียมไว้ คนผสมให้เข้ากันด้วยชุดกวนน้ำของถังหมัก การหมักแบบเติมอากาศให้เติมอากาศจากเครื่องผลิตออกซิเจนที่ติดตั้งบนถังหมัก วันละ 4 ชั่วโมง เข้าและป่าย ครั้งละ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน ถ้าเป็นการหมักแบบไม่เติมอากาศ ให้ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การขยายหัวเชื้อสำหรับทดสอบน้ำเสียทั้งการหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศทำการตรวจวัดค่าความหวาน, ค่าความเป็นกรด-ด่าง และนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ทุกๆ 6 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 และ 72 ชั่วโมง

3. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการบำบัดขยะและน้ำเสีย

3.1 การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการบำบัดขยะ

นำขยะเปียก ซึ่งประกอบด้วยเศษอาหารที่มีข้าว และกับข้าวที่เหลือจากการบริโภค มาผสมกับขยะแห้งที่ประกอบด้วยเศษหญ้าและใบไม้ ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบดังนี้

แบบที่ 1 การทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ราดโดยตรง (แบบเปียก)

ทดลองนำเชื้อเดี่ยวรหัส MJUT076, MJUT138 และเชื้อผสมระหว่างเชื้อรหัส MJUT033, MJUT076, MJUT138, MJUT122 และ PB004 ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม ไปราดบนขยะทดสอบ 5 กิโลกรัม ทดลองใช้หัวเชื้อปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำหมักขยะทดสอบ ซึ่งเท่ากับ 150, 300 และ 600 มิลลิลิตร หมักไว้ในถังหมักขยะ เป็นเวลา 13 วัน เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) และอุณหภูมิทุกๆ 2 วัน กับชุดควบคุมที่ไม่ได้ราดจุลินทรีย์

แบบที่ 2 การทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ทำเป็นปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ก่อน แล้วนำมาโรยบนขยะ (แบบแห้ง)

ทดลองนำเชื้อเดี่ยวรหัส MJUT076, MJUT138 และเชื้อผสม MJUT033, MJUT076, MJUT138, MJUT122 และ PB004 ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม มาทำเป็นปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ ทดลองผสมหัวเชื้อปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำหมักขยะทดสอบ ซึ่งเท่ากับ 150, 300 และ 600 มิลลิลิตร ผสมกับ แกลบ รำละเอียด และมูลวัวแห้ง อย่างละ 1 ส่วน หมักไว้ 7 วัน ได้ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์แบบแห้งมาโรยบนขยะ 5 กิโลกรัมให้ทั่ว การใช้ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์โรยบนขยะจะใช้สูตรละ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหมักขยะ คือ 500 กรัม หมักขยะไว้ในถังหมักขยะ เป็นเวลา 13 วัน เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) และอุณหภูมิทุกๆ 2 วัน กับชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

ทดลองนำเชื้อเดี่ยวรหัส MJUT026, MJUT076, PB014, เชื้อผสม 1 (เชื้อผสมระหว่างเชื้อรหัส MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014) และเชื้อผสม 2 (เชื้อผสมระหว่างเชื้อรหัส MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014) ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม ทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ไปเติมในบ่อน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกรภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด และโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของน้ำเสียในบ่อ ทิ้งไว้ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (retention time) ของบ่อบำบัด คือ 1 วัน สำหรับโรงงานแปรรูปสุกรฯ และ 2 วัน สำหรับโรงแรม ทำการเก็บน้ำทั้งก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์แต่ละไอโซเลตในการบำบัดน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบค่าบีโอดี(BOD) ของน้ำทั้งก่อนบำบัดและหลังการบำบัด

4. การขยายผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายและการถ่ายทอดเทคโนโลยี

จัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม เรื่อง การใช้เชื้อจุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติให้กับเกษตรกรชุมชนแม่โจ้และชุมชนใกล้เคียง จำนวน 2 รุ่นๆ ละ 50 คน

ผลการทดลอง

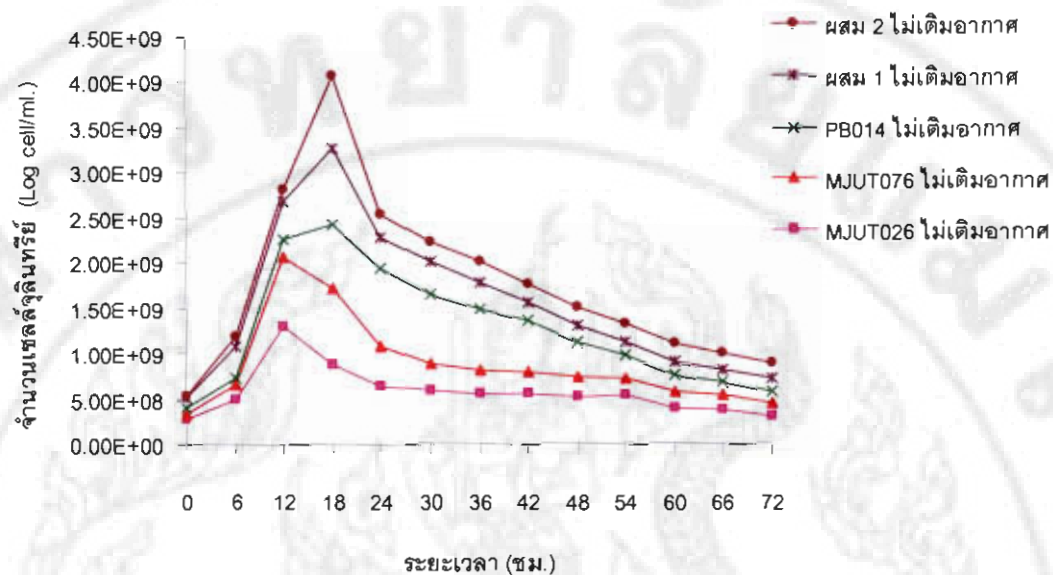
(Results)

1. การศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักจุลินทรีย์ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม

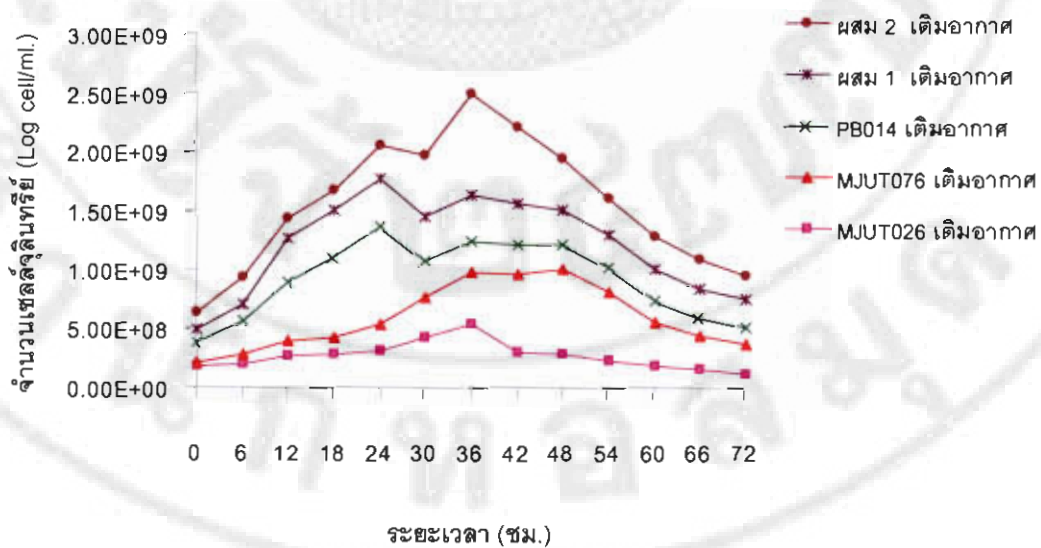
การนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดภายหลังการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้นในระดับอุตสาหกรรมที่ระยะเวลาแตกต่างกันทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในถังหมักที่ออกแบบการหมักให้มีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนมีจำนวนสูงสุดอยู่ในระดับ 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร การหมักจุลินทรีย์เชื้อเดี่ยวและเชื้อผสม 1 แบบไม่เติมอากาศจะให้จำนวนเซลล์ในระดับสูงสุดมากกว่าแบบเติมอากาศ การหมักเชื้อผสม 2 พบว่า การหมักแบบเติมอากาศให้จำนวนจุลินทรีย์ในระดับสูงสุดมากกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศ ในการใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ พบว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศทำให้จุลินทรีย์มีการใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีจำนวนสูงสุดเร็วกว่าการหมักแบบเติมอากาศ ใช้เวลาดังแต่ 6 ถึง 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 5) ส่วนการหมักแบบเติมอากาศจะใช้เวลา 12 ถึง 48 ชั่วโมง (ภาพที่ 6) หลังจากนั้นจุลินทรีย์ในถังหมักจะมีจำนวนเซลล์ลดลงตามระยะเวลาอย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้พบว่าจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ในชั่วโมงที่ 72 จะมีจำนวนมากกว่าจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นหรือในชั่วโมงที่ 0 และยังคงมีจำนวนเซลล์อยู่ในระดับ 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

2. ค่าความหวานและความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) ของสารละลายในถังหมัก

ผลการวัดค่าความหวานและความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) ของสารละลายในถังหมักที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าสารละลายในถังหมักมีค่าความหวานเริ่มต้นอยู่ในช่วง 8-13 °Brix และเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความหวานของสารละลายจะมีระดับลดลง เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ซึ่งมีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วงพีเอช 5-7 หลังจากนั้นสารละลายจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นโดยมีค่าพีเอชลดลง ในชั่วโมงที่ 72 พบว่า สารละลายในถังหมักทั้งเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3-4 (ตารางที่ 5 และ 6)



ภาพที่ 5 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักที่ไม่เติมอากาศ



ภาพที่ 6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักที่เติมอากาศ

ตารางที่ 5 ค่าพีเอชและค่าความหวานของสารละลายในถังหมักที่ไม่เติมอากาศ

ระยะเวลา (ชม.)	พีเอชและความหวานของสารละลายในถังหมักที่ไม่เติมอากาศ				
	เชื้อรหัส MJUT026	เชื้อรหัส MJUT076	เชื้อรหัส PB014	เชื้อผสม 1	เชื้อผสม 2
0	7.14 / 13.2	5.14 / 8.4	5.32 / 10.8	5.99 / 9.6	5.05 / 13.0
6	4.93 / 12.8	4.53 / 8.4	4.24 / 10.8	5.64 / 9.4	4.81 / 12.8
12	4.72 / 12.0	4.30 / 8.4	3.72 / 10.8	3.69 / 9.0	3.76 / 12.4
18	3.72 / 11.8	3.93 / 8.4	3.69 / 10.4	3.59 / 9.0	3.26 / 12.0
24	3.78 / 11.6	3.98 / 8.4	3.66 / 10.6	3.63 / 8.8	3.12 / 11.6
30	3.26 / 11.6	3.90 / 8.2	3.65 / 10.6	3.55 / 8.8	3.06 / 11.6
36	3.27 / 11.6	3.79 / 8.2	3.56 / 10.6	3.61 / 8.8	3.01 / 11.4
42	3.31 / 11.6	3.83 / 8.2	3.52 / 10.4	3.49 / 8.8	2.99 / 11.2
48	3.21 / 11.6	4.00 / 8.2	3.51 / 10.4	3.54 / 8.8	2.94 / 11.2
54	3.17 / 11.6	3.94 / 8.2	3.52 / 10.4	3.45 / 8.8	2.88 / 11.2
60	3.06 / 11.6	3.88 / 8.2	3.50 / 10.4	3.44 / 8.8	2.82 / 11.2
66	3.08 / 11.6	3.86 / 8.2	3.49 / 10.4	3.38 / 8.8	2.85 / 11.2
72	3.10 / 11.6	3.76 / 8.2	3.37 / 10.4	3.30 / 8.8	2.82 / 11.2
หมายเหตุ	เชื้อผสม 1 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014				
	เชื้อผสม 2 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014				

ตารางที่ 6 ค่าพีเอชและค่าความหวานของสารละลายในถังหมักที่เดิมอากาศ

ระยะเวลา (ชม.)	พีเอชและความหวานของสารละลายในถังหมักที่เดิมอากาศ				
	เชื้อรหัส MJUT026	เชื้อรหัส MJUT076	เชื้อรหัส PB014	เชื้อผสม 1	เชื้อผสม 2
0	6.28 / 11.6	5.41 / 12.2	6.63 / 8.4	6.63 / 8.6	5.64 / 10.6
6	6.17 / 11.4	4.53 / 12.0	6.27 / 8.4	6.27 / 8.6	4.95 / 10.6
12	5.55 / 11.4	4.30 / 11.4	5.99 / 8.6	5.99 / 8.6	4.76 / 10.4
18	4.24 / 11.4	3.93 / 11.2	4.60 / 8.4	4.60 / 8.4	4.13 / 10.4
24	3.99 / 11.0	3.98 / 10.4	4.41 / 8.4	4.41 / 8.4	4.21 / 10.4
30	3.88 / 10.0	3.94 / 10.2	4.12 / 8.4	4.12 / 8.4	4.91 / 10.4
36	3.82 / 10.0	3.94 / 10.2	3.97 / 8.6	3.97 / 8.4	4.91 / 10.4
42	3.69 / 10.0	3.89 / 10.0	3.75 / 8.4	3.75 / 8.4	4.90 / 10.2
48	3.61 / 9.8	3.91 / 10.0	3.64 / 8.4	3.64 / 8.4	2.80 / 10.2
54	3.69 / 9.6	3.88 / 10.0	3.61 / 8.4	3.61 / 8.4	4.76 / 10.2
60	3.52 / 9.6	3.86 / 9.8	3.56 / 8.0	3.56 / 8.0	4.74 / 10.2
66	3.45 / 9.4	3.83 / 9.8	3.47 / 8.0	3.47 / 8.0	4.70 / 10.2
72	3.49 / 9.4	3.76 / 9.8	3.40 / 8.0	3.40 / 8.0	4.69 / 10.2
หมายเหตุ	เชื้อผสม 1 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014				
	เชื้อผสม 2 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014				

3. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสีย

3.1 การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการบำบัดขยะ

จากการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายสารในขยะมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมแล้วนำมาทดสอบบำบัดขยะ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปของเหลวราดโดยตรง (แบบเปียก) และ การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ทำเป็นปุ๋ยหมักโรย (แบบแห้ง) พบว่า ลักษณะของขยะในการทดลองทั้ง 2 แบบ จากวันแรกถึงวันสุดท้ายของการบำบัด สีของขยะโดยเฉพาะหน้าซึ่งมีสีเขียวอ่อนจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวย้ำและป็นสีน้ำตาลในที่สุด ในวันที่ 2-3 ของการบำบัดจะปรากฏเส้นใยสีขาวของเชื้อราเจริญบริเวณผิวหน้าของขยะ ปริมาตรและน้ำหนักของขยะเริ่มลดลง ลักษณะของเมล็ดข้าว และเศษอาหารอื่นในขยะเปลี่ยนไปไม่คงรูป จนกระทั่งไม่ปรากฏลักษณะเดิมของเศษอาหารนั้นให้เห็น พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าว

ในขณะที่ยอดเชื้อจะเกิดขึ้นเร็วกว่าขณะที่ไม่ได้เติมเชื้อ การใช้จุลินทรีย์แบบแห้งทำให้ขยะมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าการใช้จุลินทรีย์แบบเปียก การใช้จุลินทรีย์บำบัดขยะทั้งแบบเปียกและแบบแห้งพบว่า ขยะที่เติมเชื้อ MJU076 จะมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าขยะที่เติมเชื้อ MJUT138 และขยะที่เติมเชื้อผสม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าขยะที่ไม่ได้เติมเชื้อ (ชุดควบคุม)

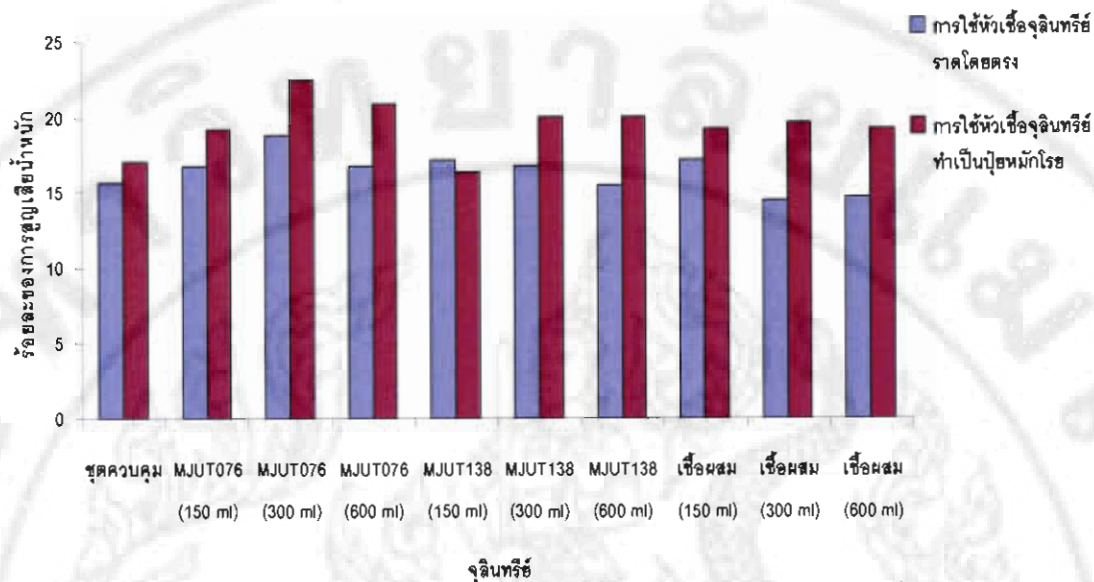
จากการวัดอุณหภูมิของขยะ ในวันแรกของการบำบัด พบว่า อุณหภูมิของขยะในการทดลองทั้ง 2 แบบ มีอุณหภูมิใกล้เคียงและเท่ากับอุณหภูมิห้อง ในวันที่ 2-10 ของการบำบัด อุณหภูมิของขยะทั้งหมดจะสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิห้อง ขยะที่เติมเชื้อแบบเปียกจะมีอุณหภูมิสูงกว่าขยะที่เติมเชื้อแบบแห้ง และขยะที่เติมเชื้อทั้งแบบเปียกและแห้งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าขยะที่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ (ชุดควบคุม) ในวันที่ 11-12 ของการบำบัด ขยะทั้งหมดมีอุณหภูมิลดลงจนใกล้เคียงและเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 7)

ผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) ในขยะ พบว่าพีเอชของขยะวันแรกถึงวันที่ 2 ของการทดลองใช้หัวเชื้อแบบเปียก มีค่าเท่ากับ 4 และแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 5 ซึ่งเท่ากับขยะที่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ (ชุดควบคุม) โดยพบว่าขยะที่เติมเชื้อ MJUT076 (300 มิลลิลิตร) และ MJUT138 (150 มิลลิลิตร) จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชใกล้เคียงกับชุดควบคุม โดยค่าพีเอชของขยะจะสูงขึ้นในวันที่ 4-8 และจะสูงขึ้นอีกในวันที่ 10-12 ในวันสุดท้ายของการบำบัด ขยะที่เติมเชื้อแบบเปียกจะมีค่าพีเอชเท่ากับขยะชุดควบคุมคือ 8 และขยะที่เติมเชื้อแบบแห้งจะมีค่าพีเอชเท่ากับขยะชุดควบคุมคือ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของขยะที่เติมเชื้อผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับขยะที่เติมเชื้อเดี่ยว แต่ต่ำกว่าชุดควบคุม (ตารางที่ 7)

ผลการวัดการสูญเสียน้ำหนัก พบว่าการบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้งทำให้ขยะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบเปียก ซึ่งการบำบัดขยะด้วยเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้ขยะมีน้ำหนักลดลงมากกว่าขยะในชุดควบคุม

การบำบัดขยะแบบเปียก พบว่าการใช้เชื้อเดี่ยว MJUT076(300 มิลลิลิตร) ทำให้ขยะมีน้ำหนักลดลงมากที่สุดเท่ากับ 18.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ MJUT138(150 มิลลิลิตร) ทำให้ขยะมีน้ำหนักลดลง 17.07 และ 21.74 เปอร์เซ็นต์ การบำบัดขยะด้วยเชื้อจุลินทรีย์แบบเปียกทำให้ขยะมีน้ำหนักลดลงมากกว่าขยะที่ไม่ได้เติมเชื้อ (ชุดควบคุม) ลดลงเท่ากับ 15.66 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการบำบัดขยะแบบแห้ง พบว่าการใช้เชื้อเดี่ยว MJUT076(300 มิลลิลิตร) และ MJUT076(600 มิลลิลิตร) ทำให้ขยะมีน้ำหนักลดลงมากที่สุดเท่ากับ 22.45 และ 20.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าขยะที่เติมเชื้อ MJUT138 และขยะที่ไม่ได้เติมเชื้อ (ภาพที่ 7)

[illegible]



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารในขยะโดยการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์แบบเปียกและแบบแห้ง

4. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารในน้ำเสีย

การนำเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายสารในน้ำเสียทั้งเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสมมาทดลองผลิตในระดับอุตสาหกรรมแบบเดิมอากาศและไม่เดิมอากาศ ไปทดสอบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกรภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด และโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ให้ผลดังนี้

4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียของโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เชื้อเดี่ยว

จากการนำเชื้อเดี่ยวรหัส MJUT026, MJUT076 และ PB014 ที่ให้ผลดีในระดับห้องปฏิบัติการ มาผลิตในระดับอุตสาหกรรมทั้งแบบเดิมอากาศและไม่เดิมอากาศไปเติมในบ่อน้ำเสียของโรงแรม ปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของน้ำเสียในบ่อ ทั้งไว้ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียแล้วเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมาทำการวิเคราะห์ค่าบีโอดี พบว่า การทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชื้อเดี่ยว MJUT026 ที่ผลิตได้แบบเดิมอากาศ สามารถลดค่าบีโอดีได้ดีที่สุดเท่ากับ 54.28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเชื้อเดี่ยว MJUT076 และ PB014 พบว่า ให้ค่าการบำบัดบีโอดีได้ไม่ดี สำหรับเชื้อเดี่ยว PB014 และ MJUT026 ที่ผลิตได้แบบไม่เดิมอากาศพบว่า สามารถลดค่าบีโอดีได้ดีที่สุดเท่ากับ 65.21 เปอร์เซ็นต์และ 56.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบ

ความสามารถในการบำบัดค่าบีโอดีของเชื้อเดี่ยวที่ผลิตได้แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าเชื้อเดี่ยว PB014 แบบไม่เติมอากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีได้สูงที่สุด บำบัดได้ 65.21 เปอร์เซ็นต์ เชื้อเดี่ยว MJUT026 ที่ผลิตได้แบบไม่เติมและเติมอากาศ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้รองลงมามีค่าเท่ากับ 56.40 และ 54.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ ก่อนและหลังการเติมเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์	ค่า BOD (mg/L)	
	น้ำทิ้งก่อนบำบัด	น้ำทิ้งหลังการบำบัด
ผลิตแบบเติมอากาศ		
รหัส PB014	222	306
รหัส MJUT026	420	192
รหัส MJUT076	288	384
เชื้อผสม 1	108	81
เชื้อผสม 2	330	522
ผลิตแบบไม่เติมอากาศ		
รหัส PB014	276	96
รหัส MJUT026	468	204
รหัส MJUT076	228	243
เชื้อผสม 1	141	114
เชื้อผสม 2	108	165
หมายเหตุ	เชื้อผสม 1 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014	
	เชื้อผสม 2 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014	

เชื้อผสม

จากการนำเชื้อเดี่ยวที่ให้ผลดีในการย่อยสลายน้ำเสียในระดับห้องปฏิบัติการมาทำการผสมเป็น 2 กลุ่ม คือ เชื้อผสม 1 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014) และเชื้อผสม 2 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014) มาผลิตในระดับอุตสาหกรรมทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ไปเติมในบ่อน้ำเสียปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเสียในบ่อ ทิ้งไว้ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียแล้วเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมาทำการวิเคราะห์ค่าบีโอดี พบว่าเชื้อผสม 1 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศให้ผล

การบำบัดค่าบีไอดีได้ดีกว่าเชื้อผสม 2 เท่ากับ 25.00 และ 19.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนเชื้อผสม 2 พบว่ามีค่าบีไอดีหลังการบำบัดสูงกว่าก่อนบำบัด (ตารางที่ 8)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อทั้งหมด พบว่าเชื้อเดี่ยว PB 014 แบบไม่เติมอากาศ ให้ค่าการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 65.21 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเชื้อเดี่ยว MJUT026 แบบไม่เติมอากาศ และ แบบเติมอากาศ บำบัดได้ 53.22 และ 49.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้

เชื้อเดี่ยว

จากการนำเชื้อเดี่ยวรหัส MJUT026, MJUT076 และ PB014 ที่ให้ผลดีในระดับห้องปฏิบัติการ มาผลิตในระดับอุตสาหกรรมทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ไปเติมในบ่อน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ ปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเสียในบ่อ ทิ้งไว้ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียแล้วเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมาทำการวิเคราะห์ค่าบีไอดี พบว่าเชื้อเดี่ยว PB014 แบบไม่เติมอากาศให้ผลการบำบัดสูงสุดที่ 64.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเชื้อเดี่ยว MJUT076 แบบไม่เติมอากาศและเชื้อเดี่ยว MJUT026 แบบไม่เติมอากาศให้ผลการบำบัดรองลงมาคือ 39.16 เปอร์เซ็นต์และ 35.71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการบำบัดค่าบีไอดีได้ดีกว่าการใช้เชื้อเดี่ยวแบบเติมอากาศ

เชื้อผสม

จากการนำเชื้อเดี่ยวที่ให้ผลดีในการย่อยสลายน้ำเสียในระดับห้องปฏิบัติการมาทำการผสมเป็น 2 กลุ่ม คือ เชื้อผสม 1 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014) และเชื้อผสม 2 (เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014 มาผลิตในระดับอุตสาหกรรมทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ไปเติมในบ่อน้ำเสียปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเสียในบ่อ ทิ้งไว้ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียแล้วเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมาทำการวิเคราะห์ค่าบีไอดี พบว่าเชื้อผสม 1 แบบเติมอากาศให้ผลการบำบัดค่าบีไอดีได้ดีกว่าแบบไม่เติมอากาศและเชื้อผสม 2 แบบเติมอากาศ มีค่าบีไอดีลดลง 62.35, 53.22 และ 49.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อทั้งหมด พบว่าเชื้อเดี่ยว PB014 แบบไม่เติมอากาศให้ค่าการบำบัดบีไอดีได้ดีที่สุดคือ 64.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเชื้อผสม 1 แบบเติมอากาศและเชื้อผสม 1 แบบไม่เติมอากาศมีค่าการบำบัดที่ 53.22 เปอร์เซ็นต์และ 49.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ ก่อนและหลังการเติมเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์	ค่า BOD (mg/L)	
	น้ำทิ้งก่อนบำบัด	น้ำทิ้งหลังการบำบัด
ผลิตแบบเติมอากาศ		
รหัส PB014	750	1050
รหัส MJU026	306	330
รหัส MJU076	216	252
เชื้อผสม 1	510	192
เชื้อผสม 2	930	468
ผลิตแบบไม่เติมอากาศ		
รหัส PB014	750	270
รหัส MJU026	1260	810
รหัส MJU076	720	438
เชื้อผสม 1	372	174
เชื้อผสม 2	213	492
หมายเหตุ	เชื้อผสม 1 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT076, MJUT122 และ PB014	
	เชื้อผสม 2 หมายถึง เชื้อผสม MJUT026, MJUT120, MJUT122, MJUT173 และ PB014	

5. ผลจากการขยายผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายและการถ่ายทอดเทคโนโลยี

หลังจากทำการวิจัย เรื่อง การผลิตเชื้อจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสียเชิงพาณิชย์เสร็จสิ้น ได้ทำการจัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม เรื่อง การใช้เชื้อจุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติให้กับเกษตรกรในชุมชนแม่โจ้และชุมชนใกล้เคียง จำนวน 2 รุ่นๆ ละ 50 คน โดยรุ่น 1 จัดขึ้นในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 รุ่นที่ 2 จัดขึ้นในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ผลจากการจัดฝึกอบรม พบว่า รุ่นที่ 1 มีผู้สนใจเข้าร่วมฝึกอบรมทั้งหมดจำนวน 48 คน รุ่นที่ 2 มีผู้สนใจเข้าร่วมฝึกอบรมทั้งหมดจำนวน 44 คน รวม 2 รุ่นมีจำนวนผู้เข้าร่วมฝึกอบรมทั้งสิ้น 92 คน โดยเนื้อหาในการจัดฝึกอบรมหลักสูตรดังกล่าวแบ่งออกเป็นภาคบรรยายและภาคปฏิบัติ ภาคบรรยายมีรายละเอียดและเนื้อหาเกี่ยวกับปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะมูลฝอยและน้ำเสีย สำหรับภาคปฏิบัติ

มีรายละเอียดและเนื้อหาเกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และเศษอาหารในครัวเรือนและการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ในครัวเรือน ผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรมในรุ่นที่ 1 พบว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สำหรับความเหมาะสมของเนื้อหาการฝึกอบรม การได้รับความรู้จากการฝึกอบรม การนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้จริงและความเหมาะสมของระยะเวลาในการจัดฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 45.5, 50.0, 54.5 และ 40.9 ตามลำดับ สำหรับผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรมในรุ่นที่ 2 พบว่าผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด สำหรับเนื้อหาในการบรรยาย ความเหมาะสมของระยะเวลา วิทยากรมีความรู้ในเนื้อหาที่บรรยาย วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ความเข้าใจ วิทยากรมีความสามารถในการตอบคำถามได้อย่างชัดเจน ความสารถของวิทยากรในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วม ความเหมาะสมของเอกสารประกอบการบรรยาย และการนำความรู้ที่ได้รับไปใช้งานได้จริง คิดเป็นร้อยละ 45.8, 35.4, 56.5, 50.0, 47.9, 47.9, 47.9 และ 43.8 ตามลำดับ (ภาคผนวก จ)

วิจารณ์ผล (Discussion)

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมแบบเดิม อากาศและไม่เต็มอากาศ พบว่าจุลินทรีย์จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนมีระดับสูงสุด หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีจำนวนลดลง สอดคล้องกับ ธารารัตน์ (2551) ที่กล่าวว่า การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเพียงระยะหนึ่งของการเจริญเท่านั้น เมื่อจำนวนเซลล์มีเพิ่มมากขึ้น จะเกิดมีข้อจำกัดในระบบการเลี้ยงเชื้อ เช่น สารอาหารเริ่มมีขีดจำกัดหรือเริ่มไม่เพียงพอต่อจำนวนเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้น หรืออาจมีสารที่เป็นพิษต่อเซลล์เนื่องจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร ทำให้เซลล์บางส่วนถูกทำลาย อย่างไรก็ตาม ในการผลิตเชื้อแบบไม่เต็มอากาศ พบว่า จุลินทรีย์มีจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีจำนวนเซลล์มากกว่าการผลิตเชื้อแบบเดิมอากาศ อาจเป็นไปได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเชื้อที่สามารถมีชีวิตอยู่รอดและทำงานได้ทั้งในที่ที่มีและไม่มีออกซิเจนหรือจัดอยู่ในประเภทแฟคคัลเททีฟ (facultative aerobes) (ธารารัตน์ , 2551) การที่เชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนเซลล์ในถังหมักที่ไม่เต็มอากาศมากกว่าในถังหมักที่เต็มอากาศ นั้น อาจเกิดขึ้นจากการที่จุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้พลังงานเพื่อการสังเคราะห์เซลล์ในสภาวะไม่มีอากาศได้ดีกว่าในสภาวะมีอากาศ

จากการศึกษานำเชื้อเดี่ยว MJUT076, MJUT138 และเชื้อผสม ที่มีประสิทธิภาพดีในการบำบัดขยะในระดับห้องปฏิบัติการมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมแล้วนำไปทดสอบบำบัดขยะ 5 กิโลกรัม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเปียกราดโดยตรง และแบบแห้งโดยนำมาผสมแกลบ รำละเอียดและมูลวัวแห้งก่อนจึงนำมาโรยให้ทั่ว พบว่าการใช้จุลินทรีย์แบบแห้งสามารถบำบัดขยะได้เร็วกว่าการใช้จุลินทรีย์แบบเปียก อาจเป็นไปได้ว่าในการทดลองนี้การใช้จุลินทรีย์ในรูปของเหลวราดลงบนขยะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถสัมผัสกับขยะได้อย่างทั่วถึง กล่าวคือเมื่อเทจุลินทรีย์ในรูปของเหลวลงไป จุลินทรีย์จะไหลลงไปอยู่บริเวณด้านล่างของถังหมัก ทำให้ขยะด้านล่างถูกย่อยสลายก่อน แต่การใช้จุลินทรีย์แบบแห้งโรยลงบนขยะ จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับและเข้าไปแทรกตัวอยู่กับขยะได้มากกว่า จึงทำให้การใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วกว่า การนำจุลินทรีย์มาผสมกันแล้วนำไปบำบัดขยะทำให้การย่อยสลายล่าช้ากว่าการใช้เชื้อเดี่ยว อาจเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดเกิดการแก่งแย่งกันหรือเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน ทำให้การบำบัดขยะเกิดขึ้นได้น้อยกว่า หรืออาจเกิดจากปริมาณเชื้อที่ใช้ในการบำบัดขยะมีน้อยกว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในขยะสดควบคุม

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสม ที่ให้ผลการบำบัดดีที่สุดในห้องปฏิบัติการ มาทดสอบในระบบบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงานแปรรูป สุกอร์แม่โจ้ และโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ โดยผลิตหัวเชื้อในระดับอุตสาหกรรมแบบเดิมอากาศ และไม่เดิมอากาศ แล้วนำไปเติมในบ่อน้ำเสียปริมาณเชื้อละ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเสียใน บ่อ พบว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เชื้อเดี่ยวจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการใช้ เชื้อผสม ซึ่งเชื้อเดี่ยวให้ผลการบำบัดดีที่สุดอาจจะเนื่องมาจาก จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตโดยไม่ แก่งแย่งกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ ในขณะที่เชื้อ ผสมอาจเกิดการเจริญเติบโตที่แก่งแย่งกันหรือการสร้างสารที่ต่อต้านกันและกันหรือมีพิษทำลาย ต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนเป็นแหล่งคาร์บอนเกิดขึ้นน้อย ส่งผลให้การบำบัดสารอินทรีย์น้อยกว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบเดี่ยวๆ

ในการบำบัดน้ำเสียของโรงแรมฯ ที่เดิมเชื้อเดี่ยว PB014 แบบไม่เดิมอากาศ สามารถลด ค่าบีโอดีได้สูงที่สุดเท่ากับ 65.21 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกอร์ฯ เชื้อ เดี่ยว PB014 แบบไม่เดิมอากาศ สามารถลดค่าบีโอดีได้ถึง 64.00 เปอร์เซ็นต์ การที่ค่าบีโอดีลดลง เกิดจากมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในระบบและจุลินทรีย์ที่ผ่านการ คัดเลือกมีความต้องการสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเสียเพื่อดำรงชีวิต สอดคล้องกับรายงานผล การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการของ Low และ Chase (1999) ที่กล่าวว่าจุลินทรีย์จะใช้ สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่ง พลังงานที่ได้จะนำไปในการดูแลรักษาเซลล์และการเจริญเติบโต เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายเพื่อ ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ ความเน่าเสียจาก สารอินทรีย์จึงลดลง ส่งผลให้ค่าบีโอดีลดลงด้วย

จากผลการทดลองการผลิตเชื้อแบบเดิมอากาศและไม่เดิมอากาศ พบว่า การผลิตเชื้อแบบ ไม่เดิมอากาศให้ผลการบำบัดน้ำเสียที่ดีกว่าเชื้อแบบเดิมอากาศ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองใน ระดับห้องปฏิบัติการที่แบบเขย่าให้ผลดีกว่าการไม่เขย่า อาจเป็นไปได้ว่าในสถานะของระบบบำบัด น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลอง เป็นระบบผสมผสานระหว่างการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ กล่าวคือ มีทั้งบ่อบำบัดที่เติมอากาศรวมอยู่ด้วย อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตแบบไม่เติม อากาศใช้ออกซิเจนจากระบบบำบัดขณะทำการทดลอง ตามรายงานของสมศักดิ์ (2538) และ Alexander (1961) กล่าวว่า ปัจจัยที่เหมาะสมกับการย่อยสลายสารอินทรีย์คือ อุณหภูมิช่วง ระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เป็นกลาง และต้องมีอากาศถ่ายเทจึงจะ ทำให้แบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดี ขณะที่ Kristiina et al. (1976) พบว่า ใน สถานะที่มีอากาศ แบคทีเรียสามารถย่อยสลายคาร์บอนที่ย่อยสลายได้จากสารอินทรีย์ภายนอกไป

เป็นส่วนประกอบของเซลล์ใหม่ได้ถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์และในสภาวะไร้อากาศย่อยสลายได้เพียง 2-5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคาร์บอนที่หลงเหลือจากกระบวนการย่อยสลายจะถูกปล่อยออกมาเป็น คาร์บอนไดออกไซด์หรือของเสียอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย เอมีน อินโดล และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นน่าเป็นที่พึงรังเกียจ

ส่วนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เชื้อผสมทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศนั้น พบว่า ให้ค่า สอดคล้องกับผลในระดับห้องปฏิบัติการ คือ บำบัดค่าบีโอดีได้ดีกว่าเชื้อเดี่ยว อาจเนื่องมาจาก เชื้อที่ผสมนั้น มีการเจริญเติบโตที่แก่งแย่งกันหรือการสร้างสารที่ต่อต้านกันและกันหรือมีพิษ ทำลายต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนเป็นแหล่งคาร์บอนเกิดขึ้น น้อย ส่งผลให้การบำบัดสารอินทรีย์น้อยกว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบเดี่ยวๆ ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Bushell and Slater (1981)

การทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงแรมและโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ แล้วพบว่าค่าบีโอดีหลัง การบำบัดมีค่าสูงกว่าก่อนบำบัดนั้น ในกรณีของโรงแรมอาจมีสาเหตุมาจากระบบบำบัดน้ำเสีย ได้รับน้ำเสียเข้ามาในระบบเพิ่มขึ้น เป็นไปได้ว่าอาจมีลูกค้าเข้าพักมากขึ้น จึงทำให้มีการใช้น้ำทำ ความสะอาดชำระร่างกายและการประกอบอาหารมีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระบบรับน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น (overload) ทำให้มีระยะเวลาการเก็บกักน้ำ (retention time) ไม่เพียงพอต่อการย่อยสลาย อีกทั้ง อาจเกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งความเข้มข้นของน้ำเสียและการ เกิดสารอินทรีย์สะสม จึงทำให้ค่าบีโอดีสูงขึ้น เช่นเดียวกับโรงงานแปรรูปสุกร ที่พบว่าค่าบีโอดีหลัง การบำบัดมีค่าสูงกว่าก่อนบำบัด อาจมีสาเหตุมาจากระบบบำบัดน้ำเสียได้รับน้ำเสียเข้ามาใน ระบบเพิ่มขึ้นจากการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ที่มีปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์สุกรแปรรูปที่เพิ่มขึ้น ทั้งน้ำเสียจากโรงงานมีความสกปรกมาก มีทั้งชิ้นส่วนเศษซาก มูล เลือด และน้ำชะล้างจาก กระบวนการผลิต จึงทำให้จำนวนจุลินทรีย์ในระบบมีมากและหลากหลาย เกิดการสะสมของ สารอินทรีย์มากขึ้น จึงทำให้ค่าบีโอดีหลังการบำบัดสูงขึ้น

สำหรับผลการทดลองที่พบว่า หลังการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ทำให้น้ำเสียมีค่าบีโอดี ไม่ลดลง หรือมีค่าบีโอดีหลังการบำบัดสูงกว่าค่าบีโอดีก่อนบำบัด อาจเป็นผลเนื่องมาจากการ ทดสอบบำบัดน้ำเสีย ใช้หัวเชื้อเติมลงไปเพียงปริมาณเดียว คือ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำเสียใน บ่อเท่านั้น ซึ่งมีปริมาณเชื้อที่ใช้อาจมีน้อยหรือไม่เพียงพอสำหรับการย่อยสลายหรือมีปริมาณน้อย กว่าเชื้อที่มีอยู่ในธรรมชาติในบ่อน้ำเสีย จึงทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดลดลง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาทดลองเติมหัวเชื้อในบ่อน้ำเสียในระดับปริมาณที่เพิ่มขึ้น เช่น การใช้หัวเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ต่อไป

สรุปผล (Summary)

การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมแบบเดิมอากาศและไม่เดิมอากาศ พบว่าจุลินทรีย์จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนมีระดับสูงสุด หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีจำนวนลดลงแต่ยังคงมีจำนวนอยู่ในระดับ 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันที่ผลิตแบบไม่เดิมอากาศจะมีจำนวนเซลล์มากกว่าการผลิตแบบเดิมอากาศ

การศึกษานำเชื้อเดี่ยว MJUT076, MJUT138 และเชื้อผสม ที่มีประสิทธิภาพดีในการบำบัดขยะในระดับห้องปฏิบัติการมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมแล้วนำไปทดสอบบำบัดขยะพบว่า การใช้เชื้อเดี่ยว MJUT076 (300 มิลลิลิตร) จะให้ผลในการบำบัดขยะได้ดีที่สุด และการใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบแห้งหรือในรูปปุ๋ยหมักจะสามารถบำบัดขยะได้เร็วกว่าการใช้จุลินทรีย์ในรูปของเหลวราดโดยตรง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ในระดับการปฏิบัติจริงกับระบบบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการ 2 แห่ง โดยเติมปริมาณหัวเชื้อที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำเสียในบ่อ พบว่า การใช้เชื้อเดี่ยวจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าการใช้เชื้อผสม และเชื้อเดี่ยว PB014 ที่ผลิตแบบไม่เดิมอากาศจะสามารถลดปริมาณบีโอดีได้สูงสุดเท่ากับ 65.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เชื้อผสมทั้งแบบเดิมอากาศและไม่เดิมอากาศสามารถลดปริมาณบีโอดีได้แต่มีค่าต่ำกว่าการใช้เชื้อเดี่ยว

เอกสารอ้างอิง

เกรียงไกร พัทธยากร. 2545. การใช้จุลินทรีย์ผลิตเอมไซม์ไลเปสในการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนที่ปนเปื้อนไขมัน. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2537. ศักยภาพพันธุ์ข้าวไทยสู่การแปรรูป, น. 8-15. ใน การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. ศักยภาพข้าวไทยทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยวิชิต ชูบ้านแก่ง และ วัชรพล พลเมือง. 2549. ออกแบบและสร้างถังหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารสำหรับครัวเรือน. โครงการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธีระ เกรอต. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย: การบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภา ศิวรังสรรค์ อุษา แสงวัฒนาโรจน์ นรรษา ปุณณะพยัคฆ์. 2544. การใช้เอนไซม์ในกระบวนการเตรียมผ้าฝ้าย. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธรรวัฒน์ ชี้อตอพ. 2551. เอกสารประกอบการเรียนจุลชีววิทยาทางอาหาร ทอ 310. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภัทรา ศรีสุทธวิกรกุล. การใช้กลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมัก. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).

มณฑิรา นพรัตน์ อนันต์ ทองทา จินดาร์ตน์ พิมพ์สมาน อาลักษณ์ ทิพย์รัตน์. การหมักแบบอาหารแข็ง (Solid State Fermentation). [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.clinictech.most.go.th>. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มาลินี อัครดิษฐเลิศ. การหมัก...เทคโนโลยีแห่งการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์. [ระบบออนไลน์]

หน่วยบริหารจัดการความรู้ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.

มันสิน ตันทุลเวศน์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล. ไม่ทราบปีที่วิจัย. **การผลิตแอลกอฮอล์แบบเร็วจากกากน้ำตาล**. คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต.

สมใจ ศิริโชค. 2537. **เทคโนโลยีการหมัก**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมศักดิ์ วังใน. 2538. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล และ ประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ. 2538. **วิศวกรรมเคมีชีวภาพพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุดธิดา เกรียงเกษม. 2545. **การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศของขยะในถังหมักแบบกะ**. นครราชสีมา : วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. 2535. **คุณภาพกากน้ำตาลที่ผลิตได้ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2534-2535**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. 2536. **คุณภาพกากน้ำตาลที่ผลิตได้ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2535-2536**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

ศานิต แก้วเย็น. 2540. **เศรษฐกิจการผลิตและการตลาดมันสำปะหลัง**, น. 1-7. ใน โครงการเผยแพร่และขยายผลงานวิจัยเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 1. นิทรรศการมันสำปะหลังและการแปรรูปผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อดิภัทร ยาศิริ สมพงษ์ ดุลยจินดาชบาพร วิชัย ลีลาวัชรมาศ และ เสาวนิต ทองพิมพ์. 2547. การผลิตเชื้อแบคทีเรียโปรไบโอติก: แลคติกแอซิดแบคทีเรียโดยใช้ถั่วงอก. รายงานโครงการวิจัย ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อนันต์ ท้าวเพชร และ สุรพัฒน์ เลานวนิช. ไม่ทราบปีที่แต่ง. ศึกษาการเลี้ยงเชื้อ *Brucella abortus* strain 1119-3 แบบกึ่งต่อเนื่อง. สำนักเทคโนโลยีชีวภัณฑ์สัตว์ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา.

อัจฉรา ตันติโชดก อิศเรศ เทียนทัต เพ็ญลักษณ์ ชูดี อุทัย เกตุนุติ. 2546. โรงงานต้นแบบผลิตเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis*. กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.

อำพล มั่นเสกวิทย์. 2546. การศึกษาการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์จากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alexander, M. (1961). Introduction to soil microbiology, p 27. New York: Wiley and Sons Inc.

Akidumila, F. and B.A. Glatz. 1998. Growth and production of *Apiotrichum curvatum* in tomato juice. J. Food Protect. 61: 1515-1517.

APHA. 1998. Standard method for the examination of water and waste. 20th ed. Washington D.C.: American Public Health Association.

Bednarski, W., J.K. Piontas, Z. Zegarska and M. Adamezak. 1993. Growth of three fungi on poultry fat or beef tallow. World K. Microbiol. Biotechnol. 9: 656-659.

Benjamin, S. and A. Pandey. 1998. *Candida rugosa* and Its lipase-a retrospect. J. Sci. Ind. Res. 57:1-9.

Boze, H., G. Moulin and P. Galzy. 1995. **Production of microbial biomass**, pp. 170-220. *In* H.J. Rehm, G. Reed, A. Puhler and P. Stadler (eds.). **Biotechnology: Enzyme, Biomass, Food and Feed**. 2nd ed. Germany: VCH. Verlagsgesellschaft.

Daniel, I.C.W., C.L. Cooney, A.L. Demain, P. Dunnill, A.E. Humphrey and M.D. Lilly. 1979.

Aeration and agitation, pp. 157-193. *In* C.G. Heden (ed.). **Fermentation and Enzyme Technology**. New York: John Wiley & Sons.

Del Rio, J.L., P. Serra, F. Velero, M. Poch and C. Sola. 1990. Reaction scheme of lipase production by *Candida rugosa* growing on olive oil. **Biotechnol. Lett.** 12(11): 835-838.

Kojima, Y., Y. Masaaki and M. Tamio, 1994. Purification and characterization of an alkaline lipase from *Pseudomonas fluorescens* AK102. **Biosci. Biotech. Biochem.** 58(9): 1564-1568.

Kristiina, V. and E.E. Staffeldt. 1976. Oxygen consumption, carbondioxide evolution and assimilation during microbial metabolism of starch, cellulose and xylan, pp. 270-382. *In*: J.M. Sharpley (ed.). **Proceeding of the Third International Biodegradation Symposium**. London: Applied Science Publisher.

Low, E. W. and H. A. Chase. 1999. **The effect of maintenance energy requirements on Biomass production during wastewater treatment**. *Wat. Res.* 33(3) : 847-853.

Moat, A.G. and J.W. Foster. 1995. **Microbial physiology**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc.

- Perekh, M., J. Formanek and H.D. Blascheck. 1999. Pilot-scale production of butanol by *Clostridium beijerinckii* BA101 using a low-cost fermentation medium based on corn steep water. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 51: 152-157.
- Shabtai, Y. and N. Daya-Mishne. 1992. Production, purification, and properties of a lipase from a bacterium (*Pseudomonas aeruginosa* YS-7) capable of growing in water-restricted environments. **Appl. Environ. Microbiol.** 58: 174-180.
- Stanbury, P. F. and Whitaker, A. 1984. **Principle of fermentation technology**. Oxford : New York. Pergamon Press.
- Stanbury, P.F., A. Whitaker and S.J. Hall. 1995. **Principles of fermentation technology**. 2nd ed., New York: Elsevier Science Ltd. Pergamon.
- Solomon, G.L. 1969. **Materials and methods in fermentation**. London: Academic Press Inc.
- Sugihara, A., T. Tani and Y. Tominaga. 1991. Purification and characterization of a novel thermostable lipase from *Bacillus* sp.. **J. Biochem.** 109(2): 211-216.
- Tomus, J. 1989. **An assessment of the use of rice bran as a fish feed in four areas of Udonthani province in the Northeast Thailand**. M.S. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก ก

อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อเหลวนูเทรียนต์ (Nutrient broth)

ผงสกัดจากเนื้อ (Beef extract)	3.0	กรัม
เปปโตน (Peptone)	5.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

พีเอช 7.0 ± 0.2

ซึ่งอาหารเหลวนูเทรียนต์ 8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 7.4 ± 0.2 และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ต้มจนละลาย ถ่ายใส่หลอดทดลองหรือขวดรูปชมพู่ (flask) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อเหลวทริปติก ซอย (Tryptic soy broth)

เปปโตนจากเคซีน (Peptone from Casein)	15.0	กรัม
เปปโตนจากถั่วเหลือง (Peptone from Soymeal)	5.0	กรัม
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	10.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

พีเอช 7.3 ± 0.2

ซึ่งอาหารเหลวทริปติก ซอย 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 7.4 ± 0.2 และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ต้มจนละลาย ถ่ายใส่หลอดทดลองหรือขวดรูปชมพู่ (flask) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ และสารเคมี

1. การวิเคราะห์ BOD

การวิเคราะห์ BOD จะวิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. (1998)

1.1 การเตรียมสารละลาย

1.1.1 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (A)

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม โพแทสเซียมไฮโดรเจน (K_2HPO_4) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.40 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.70 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

1.1.2 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (B)

ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 22.50 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

1.1.3 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (C)

ละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 27.50 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

1.1.4 สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (D)

ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

1.2 การเตรียมน้ำผสมเชื้อจาก

ผสมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส กับสารละลาย A, B, C และ D อย่างละ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เติมอากาศให้มีออกซิเจนละลายอิ่มตัว (ใช้เวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง)

1.3 การเจือจางตัวอย่างน้ำ

ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำเสียด้วยน้ำผสมเชื้อจาก (ตารางภาคผนวกที่ 1) ในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ขณะที่ผสมน้ำตัวอย่างระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ (บันทึกอัตราส่วนเจือจาง) ค่อยๆ รินตัวอย่างน้ำที่ผสมดีแล้วลงในขวดบีโอดี 3 ขวด ปิดจุก นำขวดหนึ่งไปหาค่าออกซิเจนละลายในน้ำวันที่ 0 (DO_0) อีก 2 ขวด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในที่มืด เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำไปหาค่าออกซิเจนละลายวันที่ 5 (DO_5)

1.4 การคำนวณ

$$\text{บีโอดี (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)} = \frac{\text{DO}_0 - \text{DO}}{P}$$

กำหนดให้

DO_0 = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง 15 นาที
(มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

DO_5 = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากการบ่มตัวอย่าง 5 วัน
(มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

P = อัตราส่วนของตัวอย่างที่ใช้ต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่างๆ

ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000 - 105,000	15,000
0.05	12,000 - 42,000	6,000
0.10	6,000 - 21,000	3,000
0.20	3,000 - 10,500	1,500
0.50	1,200 - 4,200	600
1.0	600 - 2,100	300
2.0	300 - 1,050	150
5.0	120 - 420	60
10.0	60 - 120	30
20.0	30 - 105	15
50.0	12 - 42	6
100	6 - 21	3
300	0 - 7	1

หมายเหตุ ถ้าปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยกว่า 1.0 มิลลิลิตร ควรเจือจางตัวอย่างก่อนเปิดใส่ขวดบีโอดี

ที่มา : มั่นสิน (2543)

1.5 วิธีการวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายแอลคาไลน์-ไฮโดรไดต์-เอไซด์ 2 มิลลิลิตร เติมลงในขวดปิเปตที่ใส่ตัวอย่างน้ำแล้ว โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่าง ปิดจุกขวดระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ ผสมให้เข้ากันโดยการคว่ำขวดขึ้นลงอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน (ออกซิเจนจะทำให้เกิดตะกอนสีน้ำตาลของ MnO_2 ถ้าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนจะได้ตะกอนสีขาวของ Mn(OH)_2 แสดงว่าผลการทดลองใช้ไม่ได้ ต้องทำการเจือจางน้ำให้มากกว่าเดิม) จนได้ส่วนในประมาณครึ่งหนึ่งของขวดปิเปต เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปข้างๆ คอขวด ปิดจุก ผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด แบ่งสารละลายที่ได้ 203 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต ทำการไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีเหลืองอ่อน จากนั้นเติมน้ำแบ่งลงไป 1-2 มิลลิลิตร จนเกิดสารละลายสีน้ำเงินจึงทำการไทเทรตต่อจนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ สีน้ำเงินหายไป นำค่าปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตมาคำนวณหาออกซิเจนละลายในน้ำ

1.6 การคำนวณ

$$\text{ค่าออกซิเจนละลายน้ำ} = \frac{\text{สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)} \times M}{0.025}$$

(มิลลิกรัมต่อลิตร)

กำหนดให้

M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ได้จากการทดสอบ (โมลาร์)

ภาคผนวก ค

การเตรียมถังหมักจุลินทรีย์



ภาพภาคผนวกที่ 1 ถังหมักจุลินทรีย์

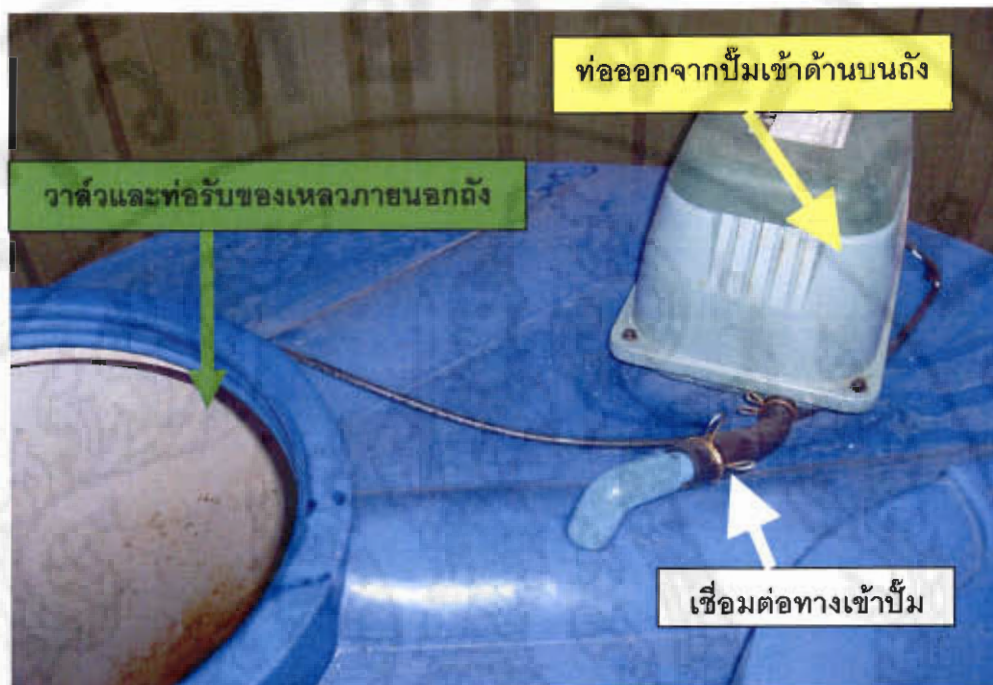
การเตรียมถังหมักจุลินทรีย์ (ภาพภาคผนวกที่ 1) ทำโดยนำถังพลาสติก มาประกอบเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ บนฐานวางถังหมักที่ติดตั้งระบบสะพานไฟและสวิตช์ไฟ รวมถึงติดตั้งเครื่องสูบน้ำกับตัวฐาน (ภาพภาคผนวกที่ 2) จากนั้นใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ประกอบเป็นท่อช่องทางรับของเหลวจากภายในและภายนอก ต่อกับเครื่องสูบน้ำเข้าสู่ตัวถัง (ภาพภาคผนวกที่ 3) หากเป็นระบบเติมอากาศให้ติดตั้งเครื่องผลิตออกซิเจนบนตัวถังและต่อท่อเข้าภายในถังจนเกือบถึงด้านล่างสุดถัง (ภาพภาคผนวกที่ 4) ข้อควรระวังคือต้องตัดท่อให้พอดีช่วงและทากาวให้แน่นเพื่อไม่ให้ข้อต่อทุกชนิดเกิดการรั่วซึม



ภาพภาคผนวกที่ 2 ฐานวางถังหมักจุลินทรีย์



ภาพภาคผนวกที่ 3 ท่อช่องทางรับของเหลวจากภายในและภายนอก



ภาพภาคผนวกที่ 4 การติดตั้งเครื่องผลิตออกซิเจนแบบมีตัวกรองกับถังหมักแบบเติมอากาศ

เมื่อประกอบถังหมักเรียบร้อยแล้ว ควรล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกในถังทุกครั้งเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตจุลินทรีย์จะใช้ถังผสมเล็กเป็นภาชนะในการละลายสารอาหาร เช่น กากน้ำตาล, น้ำตาลทรายแดง กับน้ำสะอาดก่อน แล้วจึงใช้เครื่องสูบน้ำดูดเอาส่วนผสมต่างๆ เข้าไปในถังหมัก โดยการต่อสายยางเข้ากับช่องทางรับของเหลวภายนอกกับถังผสม (ภาพภาคผนวกที่ 5) จากนั้นปิดวาล์วช่องทางรับของเหลวภายในและเปิดวาล์วรับของเหลวภายนอก เมื่อละลายสารอาหารและผสมเชื้อจุลินทรีย์จนหมดแล้ว ให้เติมน้ำสะอาดเข้าไปอีก โดยให้เหลือพื้นที่ว่างประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของถัง (ถ้าใช้ถังขนาด 2,000 ลิตร เติมน้ำให้มีระดับ 1,800 ลิตร) เมื่อเติมน้ำจนถึงระดับดังกล่าวแล้วให้ปิดเครื่องสูบน้ำ ปิดวาล์วรับของเหลวจากภายนอก เปิดวาล์วรับของเหลวภายใน จากนั้นทำการกวนผสมโดยเปิดวาล์วรับของเหลวภายนอก เปิดเครื่องสูบน้ำให้สูบสลับตรงในถังให้วนผสมกัน กรณีการหมักเป็นแบบเติมอากาศให้เติมอากาศวันละ 4 ชั่วโมง ต่อวัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมงเช้าและเย็น และเป็นเวลา 3 วัน



ภาพภาคผนวกที่ 5 การต่อท่อจากช่องทางรับของเหลวภายนอกกับถังผสม

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองบำบัดขยะและน้ำเสีย



ภาพภาคผนวกที่ 6 ผลการทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ราดโดยตรง (แบบเปียก)



ภาพภาคผนวกที่ 7 ผลการทดลองบำบัดขยะโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ทำเป็นปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ก่อน
แล้วนำไปโรยให้ทั่ว (แบบแห้ง)



ภาพภาคผนวกที่ 8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงแรมเชียงใหม่รัตนโกสินทร์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม



ภาพภาคผนวกที่ 9 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกร ภาคเหนือ เกษตรอุตสาหกรรม จำกัด โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ภาคผนวก จ

เอกสารประกอบการฝึกอบรม
และผลการฝึกอบรม

ปัญหาขยะและน้ำเสีย

จะแก้ไขได้อย่างไร ?

ทุกวันนี้ปัญหาขยะและน้ำเสียเป็นปัญหาระดับชาติของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ที่มีประชากรมากและมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ด้วย เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ เป็นต้น ขยะนั้นมีสารประกอบหลากหลายรวมกันอยู่ และแต่ละประเภทนั้นมีอายุการสลายตัวที่แตกต่างกัน บางชนิดสลายตัวได้เร็วบางชนิดสลายตัวช้า การแยกขยะจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การบำบัดทำได้ดีขึ้น ขยะที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ก็คือ ขยะที่มีสารประกอบพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง โปรตีนและไขมัน ซึ่งหากนำมาย่อยสลายแล้วสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยได้ จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถย่อยสลายสารประกอบเหล่านี้ได้ โดยการสร้างเอนไซม์ ซึ่งมักตรวจพบจุลินทรีย์เหล่านี้ได้จากดินและจากแหล่งต่างๆ ที่มีสารประกอบดังกล่าวสะสมอยู่ แต่ที่เป็นปัญหาในทุกวันนี้เนื่องจากปริมาณขยะมีมากและประชากรมักทิ้งกองหรือทิ้งลงในแม่น้ำลำคลองจำนวนมาก จนธรรมชาติฟอกตัวเองไม่ทัน ส่วนน้ำเสียนั้นก็มีปัญหาเช่นกัน เมื่อมีชุมชนใหญ่ก็就会有การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่มีการบำบัดก่อน จึงทำให้แหล่งน้ำสาธารณะฟอกตัวเองไม่ทัน ประกอบกับโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนซึ่งไม่มีพื้นที่หรือระบบการจัดการที่ดีพอก็จะระบายน้ำเสียสู่ท่อระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียเช่นกัน นอกจากการออกกฎหมายควบคุมการทิ้งขยะและการระบายน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว การรณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปร่วมมือกันแยกขยะ และหาวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดจำนวนขยะเป็นสิ่งจำเป็นแล้วการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียโดยการนำจุลินทรีย์มาใช้ เพื่อลดระยะเวลาการสลายตัวของขยะและน้ำเสียทุกชนิดก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในต่างประเทศมีผู้สนใจนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาเติมในขยะและน้ำเสียนอกเหนือไปจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติแล้ว เพื่อให้การสลายตัวของสารอินทรีย์เป็นไปด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้น มีการนำเข้าจุลินทรีย์จากต่างประเทศมาใช้ในการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียหลายชนิด การนำจุลินทรีย์จากต่างประเทศมาใช้ในประเทศอาจไม่ได้ผลเท่าที่ควรและมีราคาแพง จากการที่พบว่าที่ใดมีสารประกอบอยู่ที่นั่นย่อมต้องมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารประกอบเหล่านั้นอยู่ด้วยเสมอ การคัดเลือกจุลินทรีย์จากท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสียในท้องถิ่นจึงน่าจะให้ผลที่ดีกว่า

การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสียได้อย่างเหมาะสม จะให้ผลดีกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้สารเคมีที่อาจก่อให้เกิดการตกค้างของสารพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงเป็นแนวทางในการใช้แก้ไขปัญหาล้างสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน สามารถช่วยแก้ไขปัญหारेองขยะและน้ำเสียให้กับประเทศได้ต่อไป



ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะมูลฝอย



ขยะมูลฝอย แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

ขยะที่ย่อยสลายได้ ได้แก่ เศษอาหารต่าง ๆ มูลฝอยสด

ขยะรีไซเคิล ได้แก่ กระดาษ พลาสติก

ขยะทั่วไป ได้แก่ ขวด แก้ว โฟม โลหะ ฯลฯ



และขยะพิษ เช่น กากสารเคมี สารเคมีกำจัดแมลง กากน้ำมัน หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่ใช้แล้ว

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะ

ทุกวันนี้คนไทย สามารถสร้างขยะได้มากถึง 14 ล้านตันต่อปี แต่
ความสามารถในการจัดเก็บขยะกลับมีไม่ถึง 70 % ของขยะที่เกิดขึ้น จนทำให้เกิด

1. **อากาศเสีย** เกิดจากการเผามูลฝอยกลางแจ้งทำให้เกิดควันและสารมลพิษทางอากาศ
2. **น้ำเสีย** เกิดจากการกองมูลฝอยที่ตกค้างบนพื้นเมื่อฝนตกจะเกิดน้ำเสียซึ่งไหลลงสู่แม่น้ำทำให้เกิดภาวะมลพิษทาง
3. **แหล่งพาหะนำโรค** จากมูลฝอยตกค้างบนพื้นจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของหนูและแมลงวัน ซึ่งเป็นพาหะนำโรคติดต่อทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน
4. **เหตุรำคาญและความไม่ปลอดภัย** จากการเก็บขยะมูลฝอยไม่หมดทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน

โดยเฉลี่ยแล้วเราทุกคนจะผลิตขยะวันละ 0.6 กิโลกรัม

ทั่วประเทศจะมีขยะวันละ 39,400 ตัน / วัน

ขยะจึงตกค้างอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ และสร้างปัญหามลพิษต่อตัวเราและชุมชน



สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพฯ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์/โทรสาร 053-873842-3

ขยะแต่ละชนิด หากปล่อยให้ย่อยสลายตัวเองตามธรรมชาติ จะใช้ต้องใช้เวลาแตกต่างกัน บางชนิดย่อยได้เร็ว บางชนิดใช้เวลานานหลายร้อยปี

ชนิดของขยะ	ระยะเวลาการย่อยสลายตามธรรมชาติ
เศษกระดาษ	2-5 เดือน
เปลือกส้ม	6 เดือน
ถ้วยกระดาษเคลือบ	5 ปี
ก้นบุหรี่	12 ปี
รองเท้าหนัง	25-40 ปี
กระป๋องอะลูมิเนียม	80-100 ปี
ถุงพลาสติก	450 ปี
ผ้าอ้อมเด็กชนิดสำเร็จรูป	500 ปี
โฟม	ใช้เวลานานมากในการย่อยสลาย



การเลือกกำจัดขยะที่ย่อยสลายได้ โดยนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก แล้วนำกลับมาใช้ในครัวเรือนหรือการเกษตรจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่จะช่วยลดปัญหาขยะในสิ่งแวดล้อมได้ ทั้งยังช่วยลดการซื้อปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพงและอาจก่อให้เกิดการตกค้างของสารต่าง ๆ ในดินและมีผลในระยะยาว คือ ทำให้ดินแข็งและเสื่อมสภาพ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากน้ำเสีย



น้ำทิ้ง และสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน ได้แก่ อาคาร บ้านเรือน สำนักงาน อาคารพาณิชย์ โรงแรม เป็นต้น สิ่งปะปนมากับน้ำทิ้งประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สำคัญคือ แบคทีเรีย ซึ่งมีทั้งแบคทีเรียแอโรบิก (aerobic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระในการย่อยสลายสารอินทรีย์ กับแบคทีเรียแอนาโรบิก (anaerobic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัย ออกซิเจนอิสระ อีกชนิดหนึ่งคือ แบคทีเรียแฟคัลเตติฟ (facultative bacteria) เป็นแบคทีเรียพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งอาศัยและไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในสภาวะแวดล้อมนั้น บทบาทในการย่อยสลายสารเหล่านี้ของแบคทีเรียแอโรบิกต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (ดีโอ DO = dissolved oxygen) ลดลงต่ำมาก ตามปกติน้ำในธรรมชาติจะมีออกซิเจนละลายปนอยู่ ประมาณ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 8 ส่วนในล้านส่วน (ppm) โดยทั่วไปค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตรจัดเป็นน้ำเสีย การหาปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ (biochemical oxygen demand) เรียกย่อว่า BOD เป็นการบอกคุณภาพน้ำได้ ถ้าค่า BOD สูง แสดงว่าในน้ำนั้นมีอินทรีย์สารอยู่มาก การย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่น้อย โดยทั่วไปถ้าในแหล่งน้ำใด มีค่า BOD สูงกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าน้ำนั้นเป็นน้ำเสียถ้าในแหล่งน้ำนั้นมีค่า BOD สูงหรือมีอินทรีย์สารมาก ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดน้อยลงแบคทีเรียแอโรบิกจะลดน้อยลงด้วย อินทรีย์สารจะถูกสลายด้วยแบคทีเรียแอนาโรบิกและแบคทีเรียแฟคัลเตติฟต่อไป ซึ่งจะทำให้ก๊าซต่าง ๆ เช่น มีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย ก๊าซเหล่านี้เองที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและสีของน้ำ เปลี่ยนไปนอกจกจากสารอินทรีย์ และตามแหล่งชุมชนยังมีผงซักฟอกซึ่งเป็นตัวลดความตึงผิวของน้ำ ซึ่งหมุนเวียนไปสู่คนได้ทางโซ่อาหาร



ผลกระทบของมลพิษทางน้ำ

1. การประมง

น้ำเสียทำให้สัตว์น้ำลดปริมาณลง น้ำเสียที่เกิดจากสารพิษอาจทำให้ปลาตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากการลดค่าของออกซิเจนละลายในน้ำถึงแม้จะไม่ทำให้ปลาตายทันที แต่อาจทำลายพืชและสัตว์น้ำเล็กๆ ที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อน ทำให้ปลาขาดอาหาร ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อการประมงและเศรษฐกิจ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำถ้าหากลดจำนวนลงมากๆ ในทันทีก็อาจทำให้ปลาตายได้ นอกจากนี้ น้ำเสียยังทำลายแหล่งเพาะวางไข่ ของปลาเนื่องจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียปกคลุมพื้นที่วางไข่ของปลา ซึ่งเป็นการหยุดยั้งการแพร่พันธุ์ทำให้ปลาสูญพันธุ์ได้

2. การสาธารณสุข

น้ำเสียเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรค ทำให้เกิดโรคระบาด เช่น โรคอหิวาตกโรค ไทฟอยด์ บิด เป็นแหล่งเพาะเชื้อยุงซึ่งเป็นพาหะของโรคบางชนิด เช่น มาเลเรีย ไข้เลือดออกและสารมลพิษที่ปะปนในแหล่งน้ำ ถ้าเราบริโภคเข้าไปจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมีนามาตะ เกิดจากการรับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง โรคอีโต-อีโต เกิดจากการได้รับสารแคดเมียม

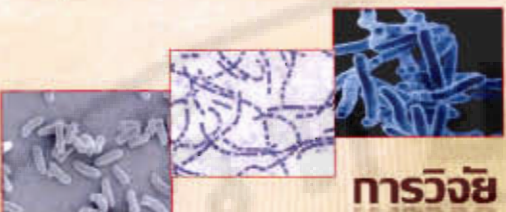
3. การผลิตน้ำเพื่อบริโภคและอุปโภค

น้ำเสียกระทบกระเทือนต่อการผลิตน้ำดื่ม น้ำใช้อย่างยิ่ง แหล่งน้ำสำหรับผลิตประปาได้จากแม่น้ำลำคลอง เมื่อแหล่งน้ำเน่าเสียเป็นผลให้คุณภาพน้ำลดลง ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเพื่อให้ น้ำมีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มจะเพิ่มขึ้น

4. การเกษตร

น้ำเสียมีผลต่อการเพาะปลูก และสัตว์น้ำ น้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเกษตร ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง น้ำที่มีปริมาณเกลืออนินทรีย์ หรือ สารพิษสูง ฯลฯ ซึ่งเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียและเกิดจากผลของการทำเกษตรกรรมนั่นเอง เช่น การชลประทาน สร้างเขื่อนกักเก็บน้ำไว้ใช้เพื่อการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติน้ำในธรรมชาติประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์เจือปนอยู่โดยเฉพาะ เกลือคลอไรด์ ขณะที่ใช้น้ำเพื่อการเกษตร น้ำจะระเหยเป็นไอโดยธรรมชาติ ปริมาณเกลืออนินทรีย์ซึ่งได้ระเหยจะตกค้างในดิน เมื่อมีการสะสมมากเข้าปริมาณเกลือในดินจะสูงขึ้น ทำให้ดินเค็มไม่เหมาะแก่การเพาะปลูกปริมาณเกลืออนินทรีย์ที่ตกค้างอาจถูกชะล้างภายหลังฝนตกจะถูกถ่ายทอกลงสู่แม่น้ำในที่สุด





การวิจัย
การพัฒนาจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ
ในการจัดการสิ่งแวดล้อม

การผลิตแมลงจุลินทรีย์สำหรับช่วยสลายสารในขยะและน้ำเสีย

- การแยกและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์



เลือกแมลงจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีในการช่วยสลายประกอบพวกเซลลูโลส เซมิเซลลูโลส แป้ง โปรตีน แลสนิน



การผลิตในระดับอุตสาหกรรม



ทดสอบบำบัดขยะและน้ำเสีย



เก็บน้ำมาตรวจคุณภาพ





การบำบัดน้ำ BOD		น้ำเสียจากโรงงาน	
เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ ประโยชน์ไม่เฉพาะทาง	BOD (mg/L)		น้ำทิ้งจากการบำบัด
	น้ำทิ้งก่อนบำบัด	น้ำทิ้งหลังการบำบัด	
รหัส MJUT014	275	96	
รหัส MJUT026	458	204	
รหัส MJUT076	228	243	
เชื้อผสม MJUT014 + 026 + 076 + 122	141	114	
เชื้อผสม MJUT026 + 120 + 122 + 173 + PB014	108	165	

การบำบัดน้ำ BOD		น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปสุก	
ชื่อหน่วยบำบัดน้ำ โดยระบบเดิม (mg/l)		BOD (mg/l)	
		น้ำทิ้งก่อนบำบัด	น้ำทิ้งหลังการบำบัด
รหัส MJUT014		750	1050
รหัส MJUT026		306	330
รหัส MJUT076		216	252
เชื่อมผสม MJUT014 + 026 + 076 + 122		510	192
เชื่อมผสม MJUT026 + 120 + 122 + 173 + PB014		930	468

เชื้อยีสหมักที่ใช้ผลิต โพรไบโอติกส์	BOD (mg/L)	
	น้ำทิ้งก่อนบำบัด	น้ำทิ้งหลังการบำบัด
ยีส MJUT014	750	270
ยีส MJUT026	1260	810
ยีส MJUT076	720	438
เชื้อผสม MJUT014 + 026 + 076 + 122	372	174
เชื้อผสม MJUT026 + 120 + 122 + 173 + PB014	213	49.2



✳ นำเศษอาหารมาผสมกับหญ้าสดและใบไม้แห้ง

อัตราส่วน 2:1

✳ คลุกเคล้าให้ผสมกัน



ใช้จุลินทรีย์ราดโดยตรง

หรือใช้ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์โรยให้ทั่ว



ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์

ทำโดย นำหัวเชื้อจุลินทรีย์

ผสมกับ รำละเอียด แกลบ

และมูลวัวแห้ง

พ่นในทางเดินสัตว์ใช้เวลาประมาณ 12-15 วัน

จึงได้น้ำจากเตบขึ้นมาใช้ในครัวเรือนและเกษตร



การทำปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ชีวภาพ สำหรับโรคอุจจาระร่วงในการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์

การทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และเศษอาหารเหลือทิ้งจากครัวเรือนนั้น จะใช้จุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการย่อยสลายซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบน้ำและแบบแห้ง แบบน้ำมีขั้นตอนไม่ยุ่งยากคือใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ราดคลุกเคล้ากับเศษอาหารเลย ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สัมผัสกับเศษอาหารได้ดีและได้ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้จากการหมักมาก แต่มีข้อเสียคือ ขยะที่อยู่ในระหว่างการหมักมักมีกลิ่นเนื่องจากขยะได้จมแช่อยู่ในน้ำหมักที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากนั่นเอง ต้องเอาใจใส่ในการระบายน้ำหมักมากขึ้นพอสมควร อีกทั้งปุ๋ยหมักขยะอินทรีย์จะแห้งเป็นปุ๋ยได้ช้าหรือมีระยะเวลาสั้นขึ้น ซึ่งตรงกับขั้นตอนการใช้แบบแห้งที่มีกลิ่นหมักเลวร้ายกว่าหมักแห้งเร็ว ใช้ระยะเวลาสั้นแต่ไม่ค่อยนำหมักชีวภาพ อีกทั้งต้องมีการบ่มการทำให้ได้ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ก่อนแล้วจึงนำไปทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และเศษอาหารในครัวเรือนต่อไป

ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักจุลินทรีย์มีวิธีการดังนี้

1. เตรียมวัสดุดิบที่เป็นส่วนผสมในการทำ คือ รำละเอียด 1 กิโลกรัม, มูลวัวแห้ง 1 กิโลกรัม, แกลบ 1 กิโลกรัม (อาจเทียบเป็นสัดส่วนก็ได้) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน
2. นำหัวเชื้อจุลินทรีย์ชีวภาพ MMO ตราแม่โจ้ สูตร 3 ประมาณ 7 ช้อน ปริมาตรเท่ากับ 600 ซีซี ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน



3. เมื่อผสมคลุกเคล้าเข้ากันดีแล้วนำไปใส่ถุงกระสอบ มัดปากถุงให้มิดชิดและหมักทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน เมื่อครบกำหนดจึงนำไปใช้ประโยชน์หรือเก็บใส่ถุงรอไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป



มีข้อสงสัยหรือสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมติดต่อ

นางสาวแม่โจ้ อธิการบดีแม่โจ้ Office โทร. 053-873842 หรือ โทร. 053-873843 หรือ โทร. 053-873844

75
แม่โจ้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แม่โจ้

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"การทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ และเศษอาหารจากครัวเรือน"



สำนักงานบริหารตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพฯ ต.หนองหาร อ.กันทรารมย์ จ.ศรีสะเกษ
โทรศัพท์/โทรสาร 053-873842-3



การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ และเศษอาหารในครัวเรือน

เศษอาหารเหลือทิ้งภายในครัวเรือน เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้ ใบตองหรือเศษเหลือทิ้งจากการปรุงอาหาร รวมถึงเศษอาหาร เช่น ข้าว กับข้าว กระตู่ ก้างปลาที่เหลือจากการทาน เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ สามารถทำเป็นปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการเกษตรภายในบ้านได้ โดยกระบวนการทางธรรมชาติที่มีจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการย่อยสลาย ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ย ช่วยลดและแก้ปัญหาขยะมูลฝอยในการปล่อยมลพิษสู่ธรรมชาติ และเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

- ถังหมักเศษขยะ ควรเป็นถังพลาสติก ขนาดพอดี (ความจุประมาณ 40-60 ลิตร) มีฝาปิดอย่างมิดชิด เพื่อป้องกันแมลงวัน แมลงสาบ นก หนูและสัตว์ต่างๆ ลงไปภายในถัง มีตะแกรงรองไว้รับเศษอาหารสูงจากก้นถังประมาณ 10-15 เซนติเมตรเพื่อป้องกันน้ำที่เกิดจากการหมักแช่กับเศษอาหารและมีกลิ่นน้ำเพื่อระบายน้ำหมักที่ได้ไปใช้ประโยชน์
- ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ชีวภาพ MMO หรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ชีวภาพ MMO ตราแมงไฉ
- เศษอาหารและขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้และทำการแยกออกจากขยะที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น เหล็ก แก้ว โฟม พลาสติก ฯลฯ

ขั้นตอนและวิธีการทำ

การทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และเศษอาหารจากครัวเรือนนั้น มีขั้นตอนกระบวนการไม่ซับซ้อนยุ่งยาก หากแต่ต้องมีการตั้งใจทำและดูแลพอสมควร เตรียมถังหมักไว้สัก 2 ใบเพื่อสลับกันหมัก หากหัวเชื้อดังหมักให้เหมาะสม หัวเชื้อไกลจากความชื้น สัตว์เลี้ยงและไม่โดนแสงแดดจ้า แต่ไม่ไกลจนเกินไป เช่น หลังบ้าน หลังห้องครัว เป็นต้น มีวิธีการทำดังนี้

1. กรองแยกน้ำออกจากเศษอาหารและขยะอินทรีย์ให้สะอาดมากที่สุด



2. ใส่น้ำหมักจุลินทรีย์หรือหัวเชื้อชีวภาพให้ทั่วหรือคลุกเคล้าร่วนกับเพื่อให้เกิดการกระจายกับจุลินทรีย์เข้าสู่ส่วนผสมกับหัวเชื้อให้เกิดผลได้รวดเร็ว



3. ในวันต่อๆ ไปหากมีเศษอาหารทำเช่นเดียวกันในถัง 2 (อาจคลุกเคล้าเศษอาหารกับปุ๋ยหมักหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ก่อนให้ลงถังก็ได้)



4. การหมักปุ๋ยอาจมีน้ำจากการหมักเกิดขึ้นด้วย ฉะนั้น ทุกๆ 2-3 วันต้องไขว้หรือระบายน้ำออก โดยใช้ขวดน้ำพลาสติกสะอาดเก็บไว้ เพื่อป้องกันเศษอาหารและกับน้ำหมักที่ได้เพราะจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น น้ำหมักที่ได้เป็นปุ๋ยน้ำใช้รดพืชมงคลสำหรับพืช น้ำไปผสมน้ำอัตรา 20 : 100 (2 ช้อนแกง ต่อ น้ำ 20 ลิตร) ใช้รดหรือรดรดโคนต้นพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น หรือนำไปรดรดลงในถัง ส่วนที่เหลือก็เก็บหมักหรือทิ้งส่วนและช่วยย่อยสลายภายในถังการจะ ทำให้สิ้นไม่สิ้น

5. เมื่อใส่เศษอาหารลงในถังแล้วปิดฝาให้มิดชิด หมักไว้สักประมาณ 7 วัน ก็จะได้อุณหภูมิที่พอเหมาะ ต้นพืช น้ำไปรดโคนต้นหรือรดรดพืชมงคลในกระถางในสวนบริเวณบ้าน ทำให้ต้นไม้พืชสวนเจริญเติบโตได้ดี สมบูรณ์แข็งแรง ในระหว่าง 7 วันก็เปิดบ้างเพื่อระบายความร้อนหมักปุ๋ยนี้ หากมีเศษอาหารให้ผ่านในการตามขึ้นตอนทั้งหมดในถังให้ดีขึ้นอีกในหนึ่ง จะช่วยให้สะดวกและง่ายขึ้นได้ตลอด



ข้อแนะนำพิเศษ

เศษอาหารที่เป็นเปลือกหัวไชมัน กระตู่หรือก้างปลาจะมีกลิ่นค่อนข้างแรง ควรเติมปุ๋ยหมักหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าปกติ

สรุปผลแบบประเมิน

โครงการฝึกอบรมเรื่อง การใช้จุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อน
ปล่อยสู่ธรรมชาติ

รุ่นที่ 1 วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2552

ณ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โครงการฝึกอบรมเรื่อง การใช้จุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ จัด
โดยสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รุ่นที่ 1 จัดในวันที่ 7
กุมภาพันธ์ 2552 มีผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งสิ้น 48 คน ผลการสรุปแบบประเมินโครงการฯ
เป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 อาชีพของผู้เข้ารับการฝึกอบรม

อาชีพของผู้เข้ารับการฝึกอบรม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เกษตรกร	8	16.7
ข้าราชการ เทศบาลเมืองแม่โจ้	1	2.1
ครูเอกชน	1	2.1
ค้าขาย	4	8.3
นักศึกษา	20	41.7
พนักงานบริษัท	1	2.1
แม่บ้าน	3	6.2
รับจ้าง	7	14.6
ลูกจ้าง	3	6.2
รวมทั้งสิ้น	48	100.0

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการอบรมส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 41.7
รองลงมาเป็นเกษตรกร และทำอาชีพรับจ้าง คิดเป็นร้อยละ 16.7 และ 14.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผู้ที่เคยผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้องมาก่อน

การผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้อง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เคย	1	2.1
ไม่เคย	47	97.9
รวมทั้งสิ้น	48	100.0

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ ไม่เคยเข้ารับการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้องกับเกษตรอินทรีย์มาก่อน จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 97.9 ที่เหลือเคยผ่านการฝึกอบรมเรื่องเกษตรอินทรีย์มาแล้ว จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2.1

ตารางที่ 3 ความต้องการให้จัดการอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า

ความต้องการให้จัดการอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ควรจัดอีก	39	81.2
- กุมภาพันธ์-มีนาคม	1	2.1
- ครึ่งวันเช้า	1	2.1
- ช่วงกลางวันระหว่างเปิดภาคการศึกษา	1	2.1
- ช่วงเวลาฤดูเกษตรนั้นๆ เพื่อให้เห็นภาพการใช้จุลินทรีย์/สารเคมี	1	2.1
- มีนาคม	2	4.2
- วันเสาร์-อาทิตย์	2	4.2
- วันหยุดในช่วงต่างๆ	1	2.1
ไม่ควรจัดอีก	0	0.0
รวมทั้งสิ้น	48	100.0

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งหมด ต้องการให้มีการจัดการฝึกอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า โดยช่วงเวลาที่ควรจัดการฝึกอบรมหลักสูตรนี้อีกนั้น ได้แก่ ช่วงเดือนมีนาคม, วันเสาร์-อาทิตย์, วันหยุดในช่วงต่างๆ, ช่วงเวลาฤดูเกษตรนั้นๆ เพื่อให้เห็นภาพการ

ใช้จุลินทรีย์/ สารเคมี, ช่วงกลางเทอมระหว่างเปิดภาคการศึกษา, จัดช่วงครึ่งวันเช้า และช่วงเดือน
กุมภาพันธ์-มีนาคม

ตารางที่ 4 แหล่งที่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรม

แหล่งที่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
หนังสือจากทางสถาบัน IQS	3	2.1
คนรู้จัก	30	62.5
ป้ายประกาศ	15	31.2
รวมทั้งสิ้น	48	100.0

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรมมาจากคนรู้จัก จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 62.5 นอกนั้นได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรมมาจากป้ายประกาศและหนังสือจากทางสถาบัน IQS คิดเป็นร้อยละ 31.2 และ 2.1 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านความคิดเห็นทั่วไป

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1.ความเหมาะสมของเนื้อหาการฝึกอบรม	26	54.2	19	39.6	3	6.2	0	0.0	0	0.0
2.การได้รับความรู้จากการฝึกอบรม	23	47.9	23	47.9	2	4.2	0	0.0	0	0.0
3.การนำความรู้ที่ได้รับจากการอบรมครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้จริง	20	41.7	23	47.9	5	10.4	0	0.0	0	0.0
4.ความเหมาะสมของระยะเวลาในการฝึกอบรม	24	50.0	13	27.1	10	20.8	1	2.1	0	0.0
5.ความเหมาะสมของสถานที่ในการฝึกอบรม	29	60.4	15	31.2	4	8.3	0	0.0	0	0.0
6.คุณภาพของอาหารกลางวันอาหารว่าง และการบริการ	26	54.2	18	37.5	4	8.3	0	0.0	0	0.0
7. ภาพรวมของการฝึกอบรม	25	52.1	18	37.5	5	10.4	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ในประเด็นความเหมาะสมของเนื้อหาการฝึกอบรม, การได้รับความรู้จากการฝึกอบรม, ความเหมาะสมของระยะเวลาในการฝึกอบรม, ความเหมาะสมของสถานที่ในการฝึกอบรม, คุณภาพของอาหารกลางวัน อาหารว่าง และการบริการ และ ภาพรวมของการฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 54.5, 47.9, 50.0, 60.4, 54.2 และ 52.1 ตามลำดับ นอกจากนี้ ในประเด็นการนำความรู้ที่ได้รับจากการอบรมครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้จริง ผู้เข้ารับการฝึกอบรม มีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 47.9

ตารางที่ 6 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านการประเมินภาคบรรยาย

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1.เนื้อหาของหัวข้อการบรรยาย	22	45.8	20	41.7	6	12.5	0	0.0	0	0.0
2.ระยะเวลาในการบรรยาย	17	35.4	15	31.2	16	33.3	0	0.0	0	0.0
3.วิทยากร										
- มีความรู้ในเนื้อหาที่บรรยาย	27	56.2	16	33.3	5	10.4	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ	24	50.0	19	39.6	5	10.4	0	0.0	0	0.0
- ตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน	23	47.9	19	39.6	6	12.5	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม	23	47.9	17	35.4	8	16.7	0	0.0	0	0.0
4.เอกสารประกอบการบรรยาย	23	47.9	17	35.4	8	16.7	0	0.0	0	0.0
5.อุปกรณ์การบรรยาย	21	43.8	20	41.7	6	12.5	1	2.1	0	0.0
6.การนำความรู้ไปใช้งานจริง	16	33.3	22	45.8	10	20.8	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ในประเด็นเนื้อหาของหัวข้อการบรรยาย, ระยะเวลาในการบรรยาย, วิทยากรมีความรู้ในเนื้อหาที่บรรยาย, วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ, วิทยากรตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน, วิทยากรมีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมี

ส่วนร่วมในการฝึกอบรม, เอกสารประกอบการบรรยาย และการนำความรู้ไปใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 45.8, 35.4, 56.2, 50.0, 47.9, 47.9, 47.9 และ 43.8 ตามลำดับ นอกจากนี้ ในประเด็นการนำความรู้ไปใช้งานจริง มีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 45.8

ตารางที่ 7 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านการประเมินภาคปฏิบัติ

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1.เนื้อหาของหัวข้อการปฏิบัติ	24	50.0	20	41.7	4	8.3	0	0.0	0	0.0
2.ระยะเวลาในการปฏิบัติ	20	41.7	19	39.6	9	18.8	0	0.0	0	0.0
3.วิทยากร										
- มีความรู้ในเนื้อหาที่ปฏิบัติ	28	58.3	17	35.4	3	6.2	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ	26	54.2	18	37.5	4	8.3	0	0.0	0	0.0
- ตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน	24	50.0	19	39.6	5	10.4	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม	23	47.9	20	41.7	5	10.4	0	0.0	0	0.0
4.เอกสารประกอบการปฏิบัติ	22	45.8	21	43.8	4	8.3	1	2.1	0	0.0
5.อุปกรณ์การปฏิบัติ	21	43.8	21	43.8	6	12.5	0	0.0	0	0.0
6.การนำความรู้ไปใช้งานจริง	22	45.8	22	45.8	4	8.3	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งหมด มีความพึงพอใจระดับมากที่สุดในทุกประเด็น โดยประเด็นที่มีความพึงพอใจมากที่สุด เรียงลำดับ 1 – 3 ได้แก่ ประเด็น วิทยากรมีความรู้ในเนื้อหาที่ปฏิบัติ, วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ, วิทยากรตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน และเนื้อหาของหัวข้อการปฏิบัติ คิดเป็นร้อยละ 58.3, 54.2 และ 50.0 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะจากผู้เข้ารับการอบรม

ข้อเสนอแนะของผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีดังต่อไปนี้

- ควรมีใบประกาศรับรองเป็นหลักฐานในการฝึกอบรม และควรเพิ่มระยะเวลาในการฝึกอบรม
- เป็นโครงการฝึกอบรมที่ดี เหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตรของเมืองไทย
- อยากให้มีการจัดการอบรมในครั้งต่อไป เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหของเกษตรกร
- อยากให้มีประกาศนียบัตรให้ผู้เข้าร่วมอบรม ถึงแม้จะต้องจ่ายเงินเข้าร่วมอบรม ก็ถือเป็นสิ่งที่ดี แต่โดยภาพรวมถือว่าเป็นการอบรมที่ดีมาก อยากให้มีการจัดอีกแต่เป็นหัวข้ออื่นๆ ก็น่าสนใจ
- อยากให้มีอบรม 2 - 3 เดือนต่อครั้ง

สรุปผลแบบประเมิน

โครงการฝึกอบรมเรื่อง การใช้จุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อน

ปล่อยสู่ธรรมชาติ

รุ่นที่ 2 วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2552

ณ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โครงการฝึกอบรมเรื่อง การใช้จุลินทรีย์แทนสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ จัดโดยสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รุ่นที่ 2 จัดในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2552 มีผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งสิ้น 44 คน ผลการสรุปแบบประเมินโครงการฯ เป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 อาชีพของผู้เข้ารับการฝึกอบรม

อาชีพของผู้เข้ารับการฝึกอบรม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เกษตรกร	17	38.6
ค้าขาย	6	13.6
นักศึกษา	8	18.2
พนักงานบริษัท	1	2.3
แม่บ้าน	5	11.4
รับจ้าง	6	13.6
ลูกจ้าง	1	2.3
รวมทั้งสิ้น	44	100.0

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการอบรมส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 38.6 รองลงมาเป็นนักศึกษา และค้าขายกับรับจ้างตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 18.2 และ 13.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผู้ที่เคยผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้องมาก่อน

การผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้อง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เคย	4	9.1
ไม่เคย	40	90.9
รวมทั้งสิ้น	44	100.0

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ ไม่เคยเข้ารับการฝึกอบรมหลักสูตรอื่นที่เกี่ยวข้องกับเกษตรอินทรีย์มาก่อน จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 90.9 ที่เหลือเคยผ่านการฝึกอบรมเรื่องเกษตรอินทรีย์มาแล้ว จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 9.1

ตารางที่ 3 ความต้องการให้จัดการอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า

ความต้องการให้จัดการอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ควรจัดอีก	43	97.7
ไม่ควรจัดอีก	1	2.3
รวมทั้งสิ้น	44	100.0

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ ต้องการให้มีการจัดการฝึกอบรมหลักสูตรนี้อีกในโอกาสหน้า 43 คน คิดเป็นร้อยละ 97.7 นอกนั้นมีความเห็นว่าไม่ควรจัดอีก 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2.3 โดยช่วงเวลาที่ควรจัดการฝึกอบรมหลักสูตรนี้อีกนั้น ได้แก่ ช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น., ช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น., ช่วงเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคม, เมษายน, ตุลาคม, ช่วงเวลาปิดภาคการศึกษา และช่วงวันเสาร์อาทิตย์

ตารางที่ 4 แหล่งที่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรม

แหล่งที่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
หนังสือจากทางสถาบัน IQS	1	2.3
คนรู้จัก	36	81.8
ป้ายประกาศ	7	15.9
รวมทั้งสิ้น	44	100.0

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรมมาจากคนรู้จัก จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 81.8 นอกนั้นได้รับข้อมูลข่าวสารในการฝึกอบรมมาจากป้ายประกาศและหนังสือจากทางสถาบัน IQS คิดเป็นร้อยละ 15.9 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านความคิดเห็นทั่วไป

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1. ความเหมาะสมของเนื้อหาการฝึกอบรม	19	43.2	20	45.5	4	5.1	1	2.3	0	0.0
2. การได้รับความรู้จากการฝึกอบรม	19	43.2	22	50.0	3	6.8	0	0.0	0	0.0
3. การนำความรู้ที่ได้รับจากการอบรมครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้จริง	15	34.1	24	54.5	5	11.4	0	0.0	0	0.0
4. ความเหมาะสมของระยะเวลาในการฝึกอบรม	11	25.0	18	40.9	9	20.5	6	13.6	0	0.0
5. ความเหมาะสมของสถานที่ในการฝึกอบรม	21	47.7	20	45.5	3	6.8	0	0.0	0	0.0
6. คุณภาพของอาหารกลางวันอาหารว่าง และการบริการ	24	54.5	17	38.6	3	6.8	0	0.0	0	0.0
7. ภาพรวมของการฝึกอบรม	22	50.0	18	40.9	4	9.1	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจระดับมากในประเด็นความเหมาะสมของเนื้อหาการฝึกอบรม, การได้รับความรู้จากการฝึกอบรม, การนำความรู้ที่ได้รับจากการอบรมครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้จริง และความเหมาะสมของระยะเวลาในการฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 45.5, 50.0, 54.5 และ 40.9 ตามลำดับ นอกจากนี้ มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ในประเด็นความเหมาะสมของสถานที่ในการฝึกอบรม, คุณภาพของอาหารกลางวันอาหารว่าง และการบริการ และภาพรวมของการฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 47.7, 54.5 และ 50.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านการประเมินภาคบรรยาย

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1. เนื้อหาของหัวข้อการบรรยาย	20	45.5	22	50.0	2	4.5	0	0.0	0	0.0
2. ระยะเวลาในการบรรยาย	12	27.3	19	43.2	10	22.7	3	6.8	0	0.0
3. วิทยากร										
- มีความรู้ในเนื้อหาที่บรรยาย	25	56.8	19	43.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ	23	52.3	20	45.5	1	2.3	0	0.0	0	0.0
- ตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน	18	40.9	23	52.3	3	6.8	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม	18	40.9	24	54.5	2	4.5	0	0.0	0	0.0
4. เอกสารประกอบการบรรยาย	17	38.6	21	47.7	6	13.6	0	0.0	0	0.0
5. อุปกรณ์การบรรยาย	19	43.2	22	50.0	2	4.5	1	2.3	0	0.0
6. การนำความรู้ไปใช้งานจริง	18	40.9	23	52.3	3	6.8	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจระดับมากในประเด็นเนื้อหาของหัวข้อการบรรยาย, ระยะเวลาในการบรรยาย, วิทยากรตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน, วิทยากรมีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม, เอกสารประกอบการบรรยาย, อุปกรณ์การบรรยาย และการนำความรู้ไปใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 50.0, 43.2, 52.3, 54.5, 47.7, 50.0 และ 52.3 ตามลำดับ นอกจากนี้ในประเด็นวิทยากรมีความรู้ในเนื้อหาที่บรรยาย และประเด็นวิทยากรมีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56.8 และ 52.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม ด้านการประเมินภาคปฏิบัติ

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจของผู้เข้ารับการฝึกอบรม									
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1. เนื้อหาของหัวข้อการปฏิบัติ	20	45.5	22	50.0	2	4.5	0	0.0	0	0.0
2. ระยะเวลาในการปฏิบัติ	16	36.4	12	27.3	11	25.0	5	11.4	0	0.0
3. วิทยากร										
- มีความรู้ในเนื้อหาที่ปฏิบัติ	26	59.1	16	36.4	2	4.5	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ	26	59.1	15	34.1	3	6.8	0	0.0	0	0.0
- ตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน	27	61.4	15	34.1	2	4.5	0	0.0	0	0.0
- มีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม	27	61.4	14	31.8	3	6.8	0	0.0	0	0.0
4. เอกสารประกอบการปฏิบัติ	24	54.5	15	34.1	5	11.4	0	0.0	0	0.0
5. อุปกรณ์การปฏิบัติ	26	59.1	14	31.8	4	9.1	0	0.0	0	0.0
6. การนำความรู้ไปใช้งานจริง	25	56.8	17	38.6	2	4.5	0	0.0	0	0.0

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ในประเด็นระยะเวลาในการปฏิบัติ, วิทยากรมีความรู้ในเนื้อหาที่ปฏิบัติ, วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ, วิทยากรตอบคำถามและปัญหาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน, วิทยากรมีความสามารถในการทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการฝึกอบรม, เอกสารประกอบการปฏิบัติ, อุปกรณ์การปฏิบัติ และการนำความรู้ไปใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 36.4, 59.1, 59.1, 61.4, 61.4, 54.5, 59.1 และ 56.8 ตามลำดับ นอกจากนั้นในประเด็นเนื้อหาของหัวข้อการปฏิบัติ มีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 50.0

ข้อเสนอแนะจากผู้เข้ารับการอบรม

ข้อเสนอแนะของผู้เข้ารับการฝึกอบรมเป็นดังต่อไปนี้

- ขอให้ทางมหาวิทยาลัยแม่โจ้ได้จัดโครงการอบรมเรื่องเกษตรอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ความรู้แก่กลุ่มฯ องค์กรต่างๆ เพื่อจะได้นำไปเผยแพร่แก่ชุมชนและหมู่บ้านต่อไป
- ควรจะเน้นในกระบวนการผลิต ต้นทุน ค่าขนส่งไปยังตลาด การตลาด
- ควรจะมีการกระจายข่าวเกี่ยวกับความรู้ทางด้านนี้ให้มากขึ้น เพราะถ้าเกษตรกรได้รับความรู้ อาจจะปฏิบัติได้ถูกต้องมากกว่าเดิม, ควรจะมีการสาธิตการทำนุยนอกสถานที่ อาจจะไปตามหมู่บ้านต่างๆด้วย
- ควรจะให้นักเรียนตามโรงเรียนต่างๆ, โรงงาน, ร้านอาหาร, หอพัก, เจ้าของตลาด, พระภิกษุ, บ้านจัดสรรฯ, กลุ่มเกษตรกร เข้ารับการอบรม และนำไปปฏิบัติ
- ควรจัดเพิ่มเป็น 2 วัน
- ควรจัดให้มีการอบรมบ่อยๆ เพื่อเผยแพร่ความรู้ให้ประชาชนนำไปใช้ในครัวเรือนของตนเองและญาติๆ
- ควรเพิ่มระยะเวลาการอบรมและเพิ่มด้านทฤษฎีให้มากกว่านี้, ภาคปฏิบัติดูงานให้มีการปฏิบัติทดลองทำของจริงโดยการแบ่งเป็นกลุ่ม
- ควรออกไปจัดอบรมตามหมู่บ้านต่างๆ
- เป็นการอบรมที่มีประโยชน์ ควรจัดอีก
- ให้ความรู้ได้ดี