



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืชพลังงาน

Potential of Biogas Production using Energy Crops

นามผู้วิจัย นายสุขชัย ยั่งยืน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รongศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภรต กุญชร ณ อยุธยา, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืชพลังงาน

Potential of Biogas Production using Energy Crops

โดย

นายสุขชัย ยั่งยืน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2557

สุขชัย ยั่งยืน 2557: ศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืชพลังงาน ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, Ph.D. 68 หน้า

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊สของพืช 6 ชนิด คือ ข้าวโพด ผักตบชวา กล้าย มะละกอ อ้อยและผักกาดขาว ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นพลังงานทางเลือก ส่วนของพืช 6 ชนิดที่ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมักขนาด 20 ลิตร มีลักษณะคือ ข้าวโพดใช้ของเหลือทิ้งคือต้นและใบ ไม่ใช่ฝัก กล้ายใช้ลำต้นและใบ อ้อยใช้เฉพาะลำต้น มะละกอใช้เฉพาะผลสุก ผักกาดขาวและผักตบชวาใช้ทั้งต้น

การทดลองหาปริมาณก๊าซชีวภาพ ด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) ใช้ อัตราการป้อน 3 kg ODM/m³ ที่อุณหภูมิควบคุม 38 °C และระยะเวลาในการหมัก 30 วัน ปริมาณ และคุณภาพก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH₄) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซออกซิเจน (O₂) ได้ถูกตรวจวัด

ผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดในระยะเวลาการหมัก 30 วัน จากมะละกอมี ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ 537.02 L_N/kg.ODM ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากพืชอื่น ๆ คือ กล้าย ข้าวโพด อ้อยและผักกาดขาว มีค่าเท่ากับ 385.10, 368.31, 352.07 และ 190.54 L_N/kg.ODM ตามลำดับ ส่วนผักตบชวาให้ปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยที่สุด 56.62 L_N/kg.ODM

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sukchai Youngyuen 2014: Potential of Biogas Production using Energy Crops.
Master of Engineering (Agriculture Engineering), Major Field: Agricultural
Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor:
Associate Profesor Prathuang Usaborisut, Ph.D. 68 pages.

This experiment aimed to study the potential of biogas production from six crops: corn, water hyacinth, banana, papaya, sugar cane and Chinese cabbage. Study results can be used for alternative energy production. Parts of selected crops fed to 20 liter digestion tanks were as follows: corn stems and leaves, banana stems and leaves, sugar can stems, ripen papaya fruits, whole Chinese cabbage and whole water hyacinth.

Experiments were performed using anaerobic digestion process under mesophillic conditions at 38 °C with 30 days retention time. Quantities and gas compositions including CH₄, CO₂ and O₂ were recorded during the 30 days experiments.

Results showed that total biogas generated using papaya fruit during 30 days period were 537.02 L_N/kg.ODM which was highest among the others. Biogas production using banana, corn, sugar cane and cabbage were 385.10, 368.31, 352.07 and 190.54 L_N/kg.ODM respectively. Water hyacinth generated lowest biogas which was 56.62 L_N/kg.ODM.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ ประธานกรรมการที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ตลอดจน ผศ.ดร.กนกศักดิ์ เอี่ยมโอภาส ผศ.บุญมา ป่านประดิษฐ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการออกแบบ การสร้าง การทดสอบ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อภิชาติ จิรัฐติยางกูร ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ อ.เมลดา เพ็ญฟู ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ให้ใช้สถานที่ในการทำวิจัย และเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยเป็นอย่างดี โดยเฉพาะ คุณอรธฤทธิ์ รื่นเรืองใจ ที่ได้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ถึงหมัก

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ยังมี ผู้เขียนขอบแต่ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ทุกท่าน และผู้ที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้

สุขชัย ยั่งยืน
กรกฎาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	42
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลการทดสอบ	52
ภาคผนวก ข กราฟข้อมูลการทดสอบ	59
ภาคผนวก ค แบบถังหมัก 20 ลิตร	64
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 Dry matter (DM), organic dry matter (ODM) and fresh biomass of crops	41
2 Biogas yield of crops	42
3 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH ₄) ในไบโอแก๊สของพืชพลังงาน	44
4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไบโอแก๊สสะสมตลอดระยะเวลาการหมัก 30 วัน ของพืชพลังงานทั้ง 6 ชนิด	46
ตารางผนวกที่	
1 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักข้าวโพดและผักตบชวา เป็นเวลา 30 วัน (ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	53
2 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักกล้วยและมะละกอ เป็นเวลา 30 วัน (ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	54
3 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักอ้อยและผักกาดขาว เป็นเวลา 30 วัน (ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	55
4 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักข้าวโพดและผักตบชวา เป็นเวลา 30 วัน (หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	56
5 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักกล้วยและมะละกอ เป็นเวลา 30 วัน (หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	57
6 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักอ้อยและผักกาดขาว เป็นเวลา 30 วัน (หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงกระบวนการหมักในสภาวะไร้อากาศ 4 ขั้นตอน	27
2	แสดงชุดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย	31
3	แสดงชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	32
4	แสดงถังหมักขนาด 20 ลิตร	33
5	แสดงเครื่องวัดปริมาณก๊าซ	34
6	แสดงเครื่องวัดคุณภาพก๊าซ	35
7	แสดงถุงเก็บก๊าซ	35
8	แสดงชุดกวนสารละลาย	36
9	แสดงเทอร์โมมิเตอร์	37
10	แสดงการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย	38
11	แสดงการทดลอง 1 batch การทดลอง กับพืชพลังงาน 2 ชนิด	40
12	Biogas yield per kg.ODM per day of energy crops at STP	43
13	Accumulated biogas yield per kg.ODM of energy crops at STP	44
14	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์มีเทน (%CH ₄) ในไบโอแก๊สของพืชพลังงาน	45
ภาพผนวกที่		
ข1	ปริมาณแก๊สเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน STP (ลิตร/กิโลกรัมสารอินทรีย์/วัน) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน	60
ข2	ปริมาณแก๊สเฉลี่ยสะสม (ลิตร) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน	61
ข3	ปริมาณแก๊สเฉลี่ยสะสมที่สภาวะมาตรฐาน STP (ลิตร/กิโลกรัมสารอินทรีย์) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน	62
ข4	ปริมาณแก๊สองค์ประกอบมีเทน (CH ₄) (ลิตร) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน	63
ค1	แบบชุดถังหมักขนาด 20 ลิตร	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค2	แบบแสดงรายละเอียดของถังหมักขนาด 20 ลิตร	66
ค3	แบบแสดงรายละเอียดของชุดกวนสารละลายของถังหมักขนาด 20 ลิตร	67



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	เปอร์เซ็นต์
°	=	องศา
°C	=	องศาเซลเซียส
mm	=	มิลลิเมตร
cm	=	เซนติเมตร
kg	=	กิโลกรัม
ODM	=	สารอินทรีย์
m^3_N	=	ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน
NL	=	ลิตรที่สภาวะมาตรฐาน
l_N	=	ลิตรที่สภาวะมาตรฐาน
L_N	=	ลิตรที่สภาวะมาตรฐาน
ha^{-1}	=	ต่อเฮกแตร์
VS^{-1}	=	ต่อโวลันไทโซลิต

ศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืชพลังงาน

Potential of Biogas Production using Energy Crops

คำนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ในทุกกระบวนการการผลิต ต้นทุนในการผลิตส่วนใหญ่หมดไปกับค่าของพลังงาน การบริโภคพลังงานของประเทศเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ. 2555 มูลค่าการนำเข้าพลังงานสูงสุดในประวัติศาสตร์คือสูงถึง 1.1 ล้านล้านบาท

ซึ่งเป็นมูลค่ารวมครึ่งหนึ่งของงบประมาณแผ่นดิน (งบประมาณรายจ่ายประจำปี พ.ศ. 2555 จำนวน 2.38 ล้านล้านบาท) (กรมธุรกิจพลังงาน, 2555) ในประเทศที่พัฒนาแล้ว นโยบายด้านพลังงานมีความสำคัญอย่างมาก แหล่งพลังงานต่างๆ เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานรูปแบบเดิม แต่ในปัจจุบัน มีแหล่งพลังงานรูปแบบอื่นอีกซึ่งรู้จักกันในชื่อ “พลังงานรูปแบบใหม่” หรือ “พลังงานทางเลือก” คือ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานจากแอลกอฮอล์ ไบโอดีเซล พลังงานไฮโดรเจน พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานจากไบโอแก๊ส (กนกศักดิ์, 2551) กระทรวงพลังงานมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้ได้ 25% ใน 10 ปี คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – 2564 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) เป้าหมายคือ จะผลิตและพัฒนาพลังงานรูปแบบใหม่ (คลื่น 2 MW ความร้อนใต้พิภพ 1 MW) พลังงานแสงอาทิตย์ 2,000 MW พลังงานลม 1,200 MW โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 1,608 MW พลังงานชีวมวล (ชีวมวล 3,630 MW ก๊าซชีวมวล 600 MW ขยะ 160 MW) เชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนน้ำมัน 44% (เอทานอล 9 ล้านลิตร/วัน ไบโอดีเซล 5.97 ล้านลิตร/วัน เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซล 25 ล้านลิตร/วัน) นอกจากนี้ การส่งเสริมพลังงานรูปแบบใหม่ กระทรวงพลังงานได้เปิดตัวโครงการที่สนับสนุนผู้ผลิตพลังงานรายย่อยที่เรียกว่า Very Small Power Producer (VSPP) VSPP เป็นผู้ผลิตพลังงานที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่า 10 MW

ไบโอแก๊สจากวัสดุอินทรีย์ (เศษอาหารและผลไม้) ไบโอแก๊สจากมูลสุกร ซึ่งเป็นพลังงานจากชีวมวลรูปแบบหนึ่งเกิดจากเทคโนโลยีการหมักในสภาวะไร้อากาศ ในถังหมัก อินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการหมัก เช่น มูลสัตว์ เศษอาหาร เศษผัก และผลไม้ เศษอาหาร ผัก และผลไม้มักพบได้จากขยะอินทรีย์ (Organic waste) ซึ่งถูกทิ้งจากบ้านเรือน และสถานประกอบการด้านอาหาร และตลาดสด ดังนั้น การผลิตไบโอแก๊สจากวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับภาคตัดแยกขยะ ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยมีการคัดแยกขยะที่ไม่ดีส่งผลให้การผลิตไบโอแก๊สจากขยะอินทรีย์ไม่ได้รับการพัฒนาหรือไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร แต่ในยุโรปมีการคัดแยกขยะที่ดี จึงมีการสร้างโรงงานผลิตไบโอแก๊ส (Digestion plant) ขึ้นมากมาย ในเยอรมนี มีโรงงานมากกว่า 600 โรง และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 2000 โรงในอีกสองถึงสามปีข้างหน้า

ไบโอแก๊สนั้นนับเป็นพลังงานทางเลือกรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมแก่ชุมชน ในปัจจุบันการใช้พลังงานจากไบโอแก๊สในชุมชนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ นำไบโอแก๊สไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม และนำไปใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้เพื่อการหุงต้มสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงแม้เปอร์เซ็นต์มีเทนจะต่ำกว่า 50% แต่การใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเปอร์เซ็นต์มีเทนเป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่องยนต์ ซึ่งเครื่องยนต์ส่วนใหญ่ต้องการไบโอแก๊สที่มีเปอร์เซ็นต์มีเทนไม่ต่ำกว่า 50%

งานวิจัยในประเทศแถบยุโรป เช่น สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ออสเตรีย ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับข้อมูลของศักยภาพแก๊สที่ได้จากเศษพืชชนิดต่างๆ และใช้ประยุกต์ในการออกแบบระบบผลิตแก๊สจากขยะอินทรีย์แล้ว แต่พืชที่ทำการค้นคว้าวิจัยเป็นพืชชนิดต่างๆ ของยุโรป ซึ่งประเทศไทยยังไม่มีการวิจัยในส่วนนี้ การทราบศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืช ผัก ชนิดต่างๆ เศษอาหาร และอินทรีย์วัตถุประเภทอื่นๆ จะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ และใช้ในการออกแบบระบบการผลิตไบโอแก๊สในทางปฏิบัติได้ ซึ่งไบโอแก๊สที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงนำมาซึ่งงานวิจัยเพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สจากพืช 6 ชนิด ซึ่งเป็นพืชที่มีปลูกทั่วไปในชุมชน โดยเลือกครอบคลุมทั้งพืชเศรษฐกิจ ผัก ผลไม้

วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณไบโอแก๊สที่เกิดจากพืช 6 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ผักตบชวา กัญชง มะละกอ อ้อย และผักกาดขาว ภายใต้การหมักแบบไร้อากาศ และความเหมาะสมในการนำมาเป็นพลังงานทางเลือก สำหรับชุมชน



การตรวจเอกสาร

1. สถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน พลังงาน คือสิ่งสำคัญมากในชีวิตประจำวันของเราทุกคน มนุษย์ยุคนี้พึ่งพาพลังงานเป็นอย่างมากในทุกด้าน ทั้งการให้แสงสว่าง หุงต้ม แห้งแห้ง ปรับอากาศ คมนาคมขนส่ง หรือการผลิตสินค้าต่างๆ ก็ล้วนจำเป็นต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น เราใช้พลังงานตลอดเวลาทั้งยามหลับและตื่น แต่น้อยครั้งที่เราจะหยุดและตั้งคำถามบ้างว่า พลังงานเหล่านี้จะมีให้ใช้ไปได้อีกนานแค่ไหน?

พลังงานที่ใช้ในโลกส่วนมากมาจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ) ซึ่งจัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถหามาทดแทนได้ (nonrenewable energy sources) กระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นใช้เวลานานนับล้านปี แต่นับตั้งแต่การปฏิวัติอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 มนุษย์ทำการขุดและนำเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นไม่ช้าก็เร็วแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก็จะต้องหมดไปจากโลกของเรา ด้วยเหตุนี้ หลายประเทศจึงเริ่มที่จะเปลี่ยนหันมาพึ่งพาพลังงานทางเลือก หรือพลังงานจากแหล่งที่ทดแทนได้ (renewable energy sources) มากขึ้น เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำจากเขื่อน พลังงานใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่น และพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) หรือ ไบโอบีโกล

2. พลังงานทางเลือก

พลังงานทางเลือก (Alternative energy) หรือพลังงานจากแหล่งที่ทดแทนได้ เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำจากเขื่อน พลังงานใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่น และพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) หรือ ไบโอบีโกล ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงาน นโยบายการควบคุม/อุดหนุนพลังงานบางชนิด ทำให้การใช้พลังงานมากเกินไป ในปัจจุบันภาวะเงินชดเชยส่วนใหญ่อยู่ที่การชดเชยเชื้อเพลิง Fossil Fuel มากกว่าการสนับสนุนพลังงานหมุนเวียน การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยสูงกว่าอัตราเฉลี่ยของประเทศอื่นเมื่อเทียบกับรายได้

3. พืชพลังงาน

พืชพลังงาน (Energy crop) คือ พืชที่ปลูกและเก็บเกี่ยวเพื่อที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทนประเภทต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีหรือกระบวนการเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่นการผลิตน้ำมันจากพืชน้ำมันต่าง ๆ การผลิตเอทานอลจากพืชประเภทแป้งและน้ำตาล และการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการย่อยสลายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

รายละเอียดของพืชพลังงานที่ใช้ทดลอง

3.1 ข้าวโพด

ข้าวโพด (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Zea mays* Linn.) ชื่ออื่นๆ ข้าวสาลี สาลี (เหนื่อ) คง (กระบี่) โปด (ใต้) ป้อเคเส่ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้ามีลำต้นสูง โดยเฉลี่ย 2.2 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2.0 นิ้ว เมล็ดจากฝักใช้เป็นอาหารคนและสัตว์

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร: Plantae

หมวด: Magnoliophyta

ชั้น: Liliopsida

อันดับ: Poales

วงศ์: Poaceae

สกุล: *Zea*

ชนิด: *Z. mays*

ชื่อทวินาม: *Zea mays* L.

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวโพดเป็นพืชจำพวกหญ้า รากชั่วคราว เรียกว่า ไพร่ หลังจากข้าวโพดเจริญเติบโตได้ประมาณ 7 - 10 วัน รากถาวรจะงอกขึ้นรอบ ๆ ข้อปลานในระดับใต้พื้นดินประมาณ 1-2 นิ้ว รากถาวรนี้ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ จะแผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 100 เซนติเมตร รากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากยึดเหนี่ยว (brace root) ซึ่งเกิดขึ้นรอบ ๆ ข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน มีลำต้นตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในพามคล้ายฟองน้ำสูงประมาณ 1.4 เมตร ลำต้นมีข้อ (node) และปล้อง (internode) ปล้องที่อยู่ในดินและใกล้ผิวดินสั้น และจะค่อย ๆ ยาวขึ้นไปทางด้านปลาย ปล้องเหนือพื้นดินจะมีจำนวนประมาณ 8-20 ปล้อง ลำต้นสดมีสีเขียว ใบ ยาวรี เป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 ซม. เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัด ตรงขอบใบมีขนอ่อนๆ มีเขี้ยวใบ ลักษณะของใบรวมทั้งสีของใบแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ บางพันธุ์ใบสีเขียว บางพันธุ์ใบสีม่วงและบางพันธุ์ใบลาย จำนวนใบก็เช่นเดียวกันอาจมีตั้งแต่ 8-48 ใบ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน ข้อดอกตัวผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น ข้อดอกตัวเมียอยู่ต่ำลงมาอยู่ระหว่างกาบของใบ และลำต้น ข้อดอกตัวผู้ (tassel) อยู่ตอนบนสุดของลำต้น ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (anther) 3 อับ

ส่วนดอกตัวเมียอยู่รวมกันเป็นช่อ เกิดขึ้นตอนช่อกกลาง ๆ ลำต้น ฝักเกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อนจะมีสีเขียว พอแก่เป็นสีน้ำตาล

การนำเข้าในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย คนไทยรู้จักนำข้าวโพดมาเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 โดยหม่อมเจ้าสิทธิพร กฤดากร ได้นำข้าวโพดพันธุ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มาปลูกและทดลองใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งในขณะนั้นเป็นยังเป็นที่ยังเป็นที่รู้จักกันน้อย จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การใช้ข้าวโพดเริ่มแพร่หลายขึ้นเนื่องจาก หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจได้นำการเลี้ยงไก่แบบการค้ามาเริ่มสาธิต และกระตุ้นให้ประชาชนปฏิบัติตามผู้เลี้ยงไก่จึงรู้จักใช้ข้าวโพดมากขึ้นกว่าเดิม แต่เนื่องจากระยะนั้นข้าวโพดมีราคาสูงและหายาก การใช้ข้าวโพดจึงใช้เป็นเพียงส่วนประกอบของอาหารหลัก ซึ่งมีรำและปลายข้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันผู้เลี้ยงสัตว์รู้จักใช้ข้าวโพดกันทั่วไป และในปัจจุบันประเทศไทยได้ปลูกข้าวโพดในปีหนึ่ง ๆ เป็นจำนวนมาก

ชนิดของข้าวโพด

โดยทั่วไปข้าวโพดจัดออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn) ที่รู้จักในปัจจุบันเช่นข้าวโพดหัวบวม (Dent Coorn) และข้าวโพดหัวแข็ง (Fint Corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะเมล็ดข้าวโพดหัวบวมหรือหัวบวม ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบวมลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว ข้าวโพดชนิดนี้สำคัญมากและนิยมปลูกกันมากใน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะทางแถบคอร์เนลเบลท์ สีของเมล็ดมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลือง เนื่องจากมีหลายสายพันธุ์มีโปรตีนน้อยกว่าพวกข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดพันธุ์นี้ส่วนบนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองจัดและเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองจัดเป็นสารให้สีที่ชื่อ คริปโตแซนทีน (Cruptoxanthin) สารนี้เมื่อสัตว์ได้รับร่างกายสัตว์จะเปลี่ยนสารนี้ให้เป็นวิตามินเอ นอกจากนี้สารนี้ยังช่วยให้ไข่แดงมีสีแดงเข้ม ช่วยให้ไก่มีผิวหนัง ปาก เนื้อ และแข้งมีสีเหลืองเข้มขึ้น เป็นที่นิยมของตลาดโดยเฉพาะแถบอเมริกาส่วนอังกฤษนั้นนิยมใช้ข้าวโพดขาว

ข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ที่นิยมปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์ ก้าวเตมาลา พีบี 12 (Rep.1) ก้าวเตมาลา พีบี 12 (Rep.2) พีบี 5 ข้าวโพดเหนียว และโอเปค-2 มีเมล็ด ตั้งแต่สีขาว สีเหลืองไปจนถึงสีแดง ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ซม. ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องบดก่อนเพื่อช่วยให้การย่อยและการผสมได้ผลดีขึ้น ที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 1-8 มม.

2) ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดมักจะใสและเหนียวเมื่อแก่เต็มที่ เพราะมีน้ำตาลมาก ก่อนที่จะสุกจะมีรสหวานมากกว่าชนิดอื่น ๆ จึงเรียกข้าวโพดหวาน มีหลายสายพันธุ์

3) ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดค่อนข้างแข็ง สีดีและขนาดแตกต่างกัน สำหรับต่างประเทศ ถ้าเมล็ดมีลักษณะแหลมเรียกว่า ข้าวโพดข้าว (Rice Corn) ถ้าเมล็ดกลม เรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (Pearl Corn)

4) ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn) เมล็ดมีสีหลายชนิด เช่น ขาว (เช่น ๆ หรือปนเหลืองนิด ๆ) หรือสีน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องจากกลายพันธุ์ พวกที่มีเมล็ดสีคล้ำและพวกกลายพันธุ์เรียกว่าข้าวโพดอินเดียนแดง (Squaw Corn) หรือเรียกได้อีกชื่อว่าข้าวโพดพันธุ์พื้นเมือง (Native Corn) พวกข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีในอาซิน สูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

5) ข้าวโพดเทียน (Waxy Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน จะมีแป้งที่มีลักษณะเฉพาะคือ นุ่มเหนียว เพราะในเนื้อแป้งจะประกอบด้วยแป้งพวกแอมมิโลเปคติน (Amylopectin) ส่วนข้าวโพดอื่น ๆ มีแป้งแอมมิโลส (Amylose) ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้แป้งค่อนข้างแข็ง

การปลูก

ปลูกด้วยแรงงานคน ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 20-25 เซนติเมตร อัตราปลูก 8,633-10,667 ต้นต่อไร่ ใช้เมล็ดพันธุ์ 3-4 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใช้จอบขุดเป็นหลุม หรือรถไถเดินตาม หรือแทรกเตอร์ติดหัวเปิดร่อง หยอดเมล็ดหลุมละ 1-2 เมล็ด กลบดินให้แน่น เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 14 วัน หลังออก ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

ปลูกด้วยเครื่องจักรกลการเกษตร ใช้รถแทรกเตอร์ลากจูงเครื่องจักรกลสำหรับการปลูกและใส่ปุ๋ย ปรับให้มีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม หรืออัตราปลูก 10,667 ต้นต่อไร่ ใช้เมล็ด 2-3 กิโลกรัมต่อไร่ โดยไม่ถอนแยก

3.2 ผักตบชวา

ผักตบชวา (อังกฤษ: Water Hyacinth) เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ มีดอก สีม่วงอ่อน คล้ายช่อดอกกล้วยไม้ และแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นดังนี้: ผักปอด, สวะ, ผักโรค, ผักตบชวา, ผักยะวา, ผักอีโยก, ผักปอง

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร: พืช (Plantae)

หมวด: Liliopsida

ชั้น: Commelinidae

อันดับ: Commelinales

วงศ์: Pontederiaceae

สกุล: Eichhornia

ชนิด: E. crassipes

ชื่อทวินาม: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

ประวัติ

ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2444 ในสมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซียในฐานะเป็นไม้ประดับสวยงาม โดยเจ้านายฝ่ายในที่ตามเสด็จประพาสประเทศอินโดนีเซีย ได้เห็นพืชชนิดนี้มีดอกสวยงาม จึงนำกลับมาปลูกในประเทศไทย และใส่อ่างดินเลี้ยงไว้หน้าสนามวังสระปทุม จนกระทั่งเกิดน้ำท่วมวังสระปทุมขึ้น ทำให้ผักตบชวาหลุดลอยกระจายไปตามแม่น้ำลำคลองทั่วไป และแพร่พันธุ์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักตบชวามีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำตรงกลางพองออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น ๆ และมีจุดเหลืองที่กลางกลีบ ขยายพันธุ์โดยการแยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก

ประโยชน์

- การบริโภค ดอกอ่อนและก้านใบอ่อนกินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม
- ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่นหมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้ เครื่องจักรสานผักตบชวา

- ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย และขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ

ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น

ผักตบชวาจัดเป็น "เอเลี่ยน สปีชีส์" หรือ "ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น" ที่เข้ามาแพร่ระบาดรุกรานจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศในประเทศไทย มีการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ใน 1 เดือน ผักตบชวาเพียง 1 ต้นอาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ต้น ถึงแม้ว่าจะแห้งจนต้นตายแต่เมล็ดของมันก็ยังมีชีวิตต่อไปได้นานถึง 15 ปีและทันทีที่เมล็ดได้รับน้ำที่เพียงพอมันก็จะแตกหน่อเป็นต้นใหม่ต่อไปจนกลายเป็นปัญหาทางน้ำและทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ทำให้รัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาจำนวนมาก ซึ่งไม่เพียงแต่ประเทศไทยเท่านั้นอีกกว่า 50 ประเทศทั่วโลกก็เจอปัญหาเช่นเดียวกัน จะมีก็แต่ประเทศในแถบยุโรปเท่านั้นที่ปลอดการรบกวน และบริเวณที่ถูกผักตบชวาคูกคามมากที่สุดคือ ทะเลสาบวิกตอเรีย ประเทศไทยเองเริ่มมีการกำจัดผักตบชวามาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 6 ถึงขนาดมีการออกพระราชบัญญัติสำหรับกำจัดผักตบชวา พ.ศ. 2456 ปัจจุบันมีหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ได้เข้ามาช่วยเหลือในการกำจัด เช่น นำไปผลิตเป็นของใช้ อาหารสัตว์ ทำปุ๋ย ฯลฯ และมีการนำแมลงมวนผักตบจากแหล่งกำเนิดที่ทวีปอเมริกาใต้ เข้ามาทดลองปล่อยในประเทศไทย เพื่อควบคุมจำนวนประชากรของผักตบชวา

บทบาทในการกำจัดน้ำเสีย

ผักตบชวาสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำหน้าที่กรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้นกรองออก นอกจากนี้ ระบบรากที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่ราก จะช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ คือ ประมาณ 95 % ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน จะเป็นประมาณ 80 % และ 77 % ตามลำดับ สถานที่แรกในประเทศไทยที่ใช้การบำบัดด้วยวิธีนี้คือ "บึงมักกะสัน" ซึ่งเป็นโครงการบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียตามแนวทฤษฎีการพัฒนาโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration)

3.3 กล้าย

กล้าย เป็นพรรณไม้ล้มลุกในสกุล *Musa* มีหลายชนิดในสกุล บางชนิดก็ออกหน่อแต่ว่าบางชนิดก็ไม่ออกหน่อ ใบแบนยาวใหญ่ ก้านใบตอนล่างเป็นกาบยาวหุ้มห่อซ้อนกันเป็นลำต้น ออกดอกที่ปลายลำต้นเป็น ปลี และมักยาวเป็นงวง มีลูกเป็นหวี ๆ รวมเรียกว่า เครือ พืชบางชนิดมีลำต้นคล้ายปาล์ม ออกใบเรียงกันเป็นแถวทำนองพัดคลี่ คล้ายใบกล้าย เช่น กล้ายพัด (*Ravenala madagascariensis*) ทว่าความจริงแล้วเป็นพืชในสกุลอื่น ที่มีใช้ทั้งปาล์มและกล้าย

สปีชีส์

Musa acuminata

Musa balbisiana

ลูกผสม

Musa × paradisiacal

อนุกรมวิธาน

สกุล *Musa* จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae ตามระบบ APG III กำหนดให้ Musaceae อยู่ในอันดับ Zingiberales เป็นส่วนหนึ่งในเครือบรรพบุรุษ commelinid ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

บางแหล่งอ้างว่าชื่อ *Musa* ได้รับการตั้งชื่อตามแอนโตนิอุส มูซา (Antonius Musa) นักพฤกษศาสตร์และแพทย์ประจำพระองค์ของจักรพรรดิออกัสตัส แหล่งอื่นกล่าวว่าคาโรลัส ลินเนียสผู้ตั้งชื่อสกุลในปี ค.ศ. 1750 ได้ดัดแปลงมาจากคำว่า mauz ซึ่งแปลว่ากล้วยในภาษาอาหรับ คำว่า banana ในภาษาอังกฤษมีรากมาจากภาษาโวลอฟคำว่า banaana มีพืช 70 ชนิดในสกุล *Musa* ที่ได้รับการบันทึกใน World Checklist of Selected Plant Families (รายการตรวจสอบวงศ์พืชทั่วโลก) เมื่อเดือนมกราคม ค.ศ. 2013 มีหลายชนิดที่ผลรับประทานได้ ขณะที่บางชนิดปลูกไว้เป็นไม้ประดับ

การจัดจำแนกกล้วยเป็นปัญหาที่ซับซ้อนสำหรับนักอนุกรมวิธาน เดิมลินเนียสจำแนกกล้วยออกเป็นสองชนิดบนพื้นฐานของการนำไปใช้เป็นอาหารคือ *Musa sapientum* สำหรับกล้วยและ *Musa paradisiaca* สำหรับกล้วย ภายหลังชื่ออีกหลายชนิดก็ถูกเพิ่มเติมเข้าไป อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ได้พิสูจน์ว่าไม่น่าเชื่อถือที่จะจัดการจำนวนพันธุ์ปลูกซึ่งมีจำนวนมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นศูนย์กลางความหลากหลายของสกุล หลายพันธุ์ปลูกที่ได้รับการตั้งชื่อได้ถูกพิสูจน์ว่าเป็นเพียงชื่อพ้องในชุดเอกสารที่ตีพิมพ์หลัง ค.ศ. 1947 เออร์เนสต์ ซีสมัน (Ernest Cheesman) แสดงให้เห็นว่า *Musa sapientum* และ *Musa paradisiaca* ของลินเนียสเป็นแค่พันธุ์ปลูกและสืบเชื้อสายมาจากกล้วยป่าสองชนิด คือ *Musa acuminata* และ *Musa balbisiana* ซึ่งได้รับการจัดจำแนกโดยลุยจี อาลอยซิอุส คอลลา (Luigi Aloysius Colla) เขาแนะนำให้ยกเลิกชื่อของลินเนียสและสนับสนุนให้จัดจำแนกกล้วยใหม่ตามกลุ่มที่มีหลักฐานวิวัฒนาการที่ต่างกันสามกลุ่ม กลุ่มที่แสดงออกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของ *Musa balbisiana* กลุ่มที่แสดงออกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของ *Musa acuminata* และกลุ่มที่แสดงออกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่ผสมกันระหว่างสองชนิดข้างต้น

นักวิจัยนอร์แมน ซิมมอนด์ (Norman Simmonds) และ เคน เชปเพิร์ด (Ken Shepherd) เสนอระบบการตั้งชื่อบนพื้นฐานของจีโนมใน ค.ศ. 1955 ระบบนี้ได้ขจัดความยากและความไม่สอดคล้องของการจัดจำแนกกล้วยก่อนหน้านี้ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐาน *Musa sapientum* และ *Musa paradisiaca* ของลินเนียส ถึงอย่างไรก็ตาม ปัจจุบันชื่อเดิมยังคงถูกใช้โดยผู้แต่งบางคนซึ่งนำไปสู่ความสับสน

ปัจจุบัน ชื่อวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับของกล้วยคือ *Musa acuminata* Colla และ *Musa balbisiana* Colla สำหรับสปีชีส์บรรพบุรุษ และ *Musa* × *paradisiaca* L. สำหรับลูกผสม *M. acuminata* × *M. balbisiana*[21] ชื่อพ้องของ *M. × paradisiaca* ประกอบด้วย:

- ชื่อชนิดย่อยและชื่อพันธุ์จำนวนมากของ *M. × paradisiaca*, รวมถึง *M. p. subsp. sapientum* (L.) Kuntze
- *Musa* × *dacca* Horan.
- *Musa* × *sapidisiaca* K.C.Jacob, nom. superfl.
- *Musa* × *sapientum* L. และชื่อพันธุ์จำนวนมากของมัน รวมถึง *M. × sapientum* var. *paradisiaca* (L.) Baker, nom. illeg.

โดยทั่วไปแล้ว การจัดจำแนกพันธุ์ปลูกของกล้วยในปัจจุบันยึดตามระบบของซิมมอนด์และเชปเพิต พันธุ์จะได้รับการจัดกลุ่มบนพื้นฐานของจำนวนโครโมโซมที่มีและสปีชีส์ที่เป็นบรรพบุรุษ ดังนั้นกล้วยไข่ (*Latundan banana*) ที่จัดอยู่ในกลุ่ม AAB แสดงให้เห็นว่ามันเป็น triploid (มีโครโมโซม 3 ชุด) ที่กำเนิดมาจากทั้ง *M. acuminata* (A) และ *M. balbisiana* (B) สำหรับรายชื่อพันธุ์กล้วยภายใต้การจัดจำแนกด้วยระบบนี้สามารถดูเพิ่มเติมที่พันธุ์กล้วย

ใน ค.ศ. 2012 ทีมนักวิทยาศาสตร์ประกาศว่าพวกเขาได้ประสบความสำเร็จในการร่างลำดับจีโนมของ *Musa acuminata*

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยเป็นไม้ดอกล้มลุกขนาดใหญ่ ทุกส่วนเหนือพื้นดินของกล้วยเจริญจากส่วนที่เรียกว่า "หัว" หรือ "เหง้า" ปกติแล้ว ต้นกล้วยจะสูงและแข็งแรงพอสมควร ทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นต้นไม้ ซึ่งแท้จริงแล้วส่วนที่คล้ายกับลำต้นคือ "ลำต้นเทียม" (pseudostem) ใบของกล้วยประกอบด้วย "ก้านใบ" (petiole) และแผ่นใบ (lamina) ฐานก้านใบแผ่ออกเป็นกาบ กาบที่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นทำให้เกิดลำต้นเทียม มีหน้าที่ชูก้านใบ พยายามให้พืชตั้งตรงดูคล้ายต้นไม้ เมื่อแรกเจริญขอบของกาบจะจรดกันคล้ายท่อ เมื่อมีใบเจริญขึ้นใหม่ที่ใจกลางลำต้นเทียม ขอบกาบที่จรดกันนั้นก็แยกออกจากกัน พันธุ์กล้วยนั้นมีความผัน

แปรมากขึ้นอยู่กับพันธุ์ปลูกและสภาพแวดล้อม โดยมาก สูงประมาณ 5 เมตร (16 ฟุต) จาก 'กล้วยหอมแคระ (Dwarf Cavendish)' ซึ่งสูงประมาณ 3 เมตร (10 ฟุต) ไปจนถึง 'กล้วยหอมทอง (Gros Michel)' ที่สูงประมาณ 7 เมตร (23 ฟุต) หรือมากกว่า ใบแรกเจริญจะหดเป็นเกลียวก่อนที่จะแผ่ออก อาจยาวได้ถึง 2.7 เมตร (8.9 ฟุต) และกว้าง 60 ซม (2.0 ฟุต) แผ่นใบมีขนาดใหญ่ ปลายใบมน รูปใบขอบขนาน โคนใบมน มีสีเขียว ใบฉีกขาดได้ง่ายจากลม ทำให้บางครั้งมองดูคล้ายใบเฟิร์น รากเป็นระบบรากฝอย แผ่ไปทางด้านกว้างมากกว่าทางแนวดิ่งลึก

ต้นกล้วยที่มีผลและหัวปลีเมื่อกล้วยเจริญเติบโตเต็มที่ หัวจะสร้างใบสุดท้ายที่เรียกว่า "ใบธง" จากนั้นจะหยุดสร้างใบใหม่ และเริ่มสร้างช่อดอก (inflorescence) ลำต้นที่มีช่อดอกอ่อนบรรจุอยู่ จะพัฒนาขึ้นภายในลำต้นเทียม จนในที่สุดมันก็โผล่ออกที่ด้านบนลำต้นเทียม แต่ละลำต้นเทียมจะสร้างช่อดอกเพียงช่อเดียว ซึ่งรู้จักกันในชื่อ "ปลี (banana heart)" (บางครั้งมีกรณีพิเศษ เช่นกล้วยในประเทศฟิลิปปินส์สร้างปลีขึ้นมาห้าหัว[10]) ช่อดอกประกอบด้วยกลุ่มของช่อดอกย่อยเป็นกลุ่มๆ มีใบประดับสีม่วงแดงหรือที่เรียกว่า "กาบปลี" (บางครั้งมีการเข้าใจผิดเรียกเป็นกลีบดอก) ระหว่างแถวของช่อดอกย่อย ช่อดอกย่อยแต่ละช่อมีดอกเรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว ดอกตัวเมีย (ที่สามารถเจริญเป็นผลได้) จะอยู่ในช่อดอกย่อยที่บริเวณโคนปลี (ใกล้กับใบ) ดอกตัวผู้จะอยู่ที่ปลายปลี หรือส่วนที่เรียกว่า "หัวปลี" รังไข่อยู่ต่ำกว่าซึ่งหมายความว่ากลีบดอกขนาดเล็กและส่วนอื่นๆ ของดอกจะอยู่ในปลายรังไข่ หลังให้ผล ลำต้นเทียมจะตายลง แต่หน่อหรือตะเกียงจะพัฒนาขึ้นจากตา (bud) ที่หัว ส่งผลให้กล้วยเป็นพืชหลายปี หากเกิดขึ้นหลายหน่อพร้อมกันจะเรียกว่า "การแตกกอ" ในระบบการเพาะปลูก จะอนุญาตให้เจริญเติบโตเพียงหน่อเดียวเท่านั้นเพื่อให้ง่ายต่อการจัดสรรพื้นที่

ผลกล้วยพัฒนาจากดอกเพศเมีย กลุ่มของดอกเพศเมีย 1 กลุ่มเจริญเป็นผลเรียกว่า "หวี (hands)" ซึ่งหวีหนึ่งๆ มีผลกล้วยประมาณ 20 ผล กลุ่มหวีบนช่อดอกเจริญเป็น "เครือ (banana stem)" ซึ่งอาจมี 3-20 หวี ผลของกล้วยมีการเจริญได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ จึงทำให้กล้วยส่วนใหญ่ไม่มีเมล็ด ดอกตัวเมีย (ซึ่งจะเจริญไปเป็นผล) มีกลีบดอกและส่วนอื่นๆ ที่ปลายรังไข่ (รังไข่อยู่ต่ำกว่า (inferior))

ผลกล้วยได้รับการบรรยายเป็น "leathery berry (ลูกเบอร์รี่ที่คล้ายแผ่นหนัง)" มีชั้นป้องกันภายนอก (เปลือก) มีสายบางๆ ตามยาว (มัดท่อลำเลียงโฟลเอ็ม) อยู่ระหว่างเปลือกและส่วนที่รับประทานได้ภายใน เนื้อกล้วยมีเนื้อนุ่มสีเหลือง มีรสหวานคล้ายขนม เมล็ดกล้วยมีลักษณะกลมเล็ก

บางพันธุ์มีขนาดใหญ่ เปลือกหนาแข็ง มีสีดำ สำหรับในสายพันธุ์ปลูก เมล็ดกล้วยมีขนาดเล็กมาก เกือบจะไม่มีเลย เหลือแค่เพียงจุดสีดำเล็ก ๆ ภายในเนื้อกล้วยเท่านั้น

การจำแนกกลุ่มของกล้วย

การจำแนกกลุ่มของกล้วยทำได้ 2 วิธี คือ จำแนกตามวิธีการนำมาบริโภค และจำแนกตามลักษณะทางพันธุกรรม

การจำแนกตามลักษณะทางพันธุกรรม

หลังปี ค.ศ. 1955 นักวิชาการได้จำแนกพันธุ์กล้วยตามพันธุกรรมโดยใช้จีโนมของกล้วยเป็นตัวกำหนดในการแยกพันธุ์ กล้วยที่นิยมบริโภคกันในปัจจุบันมีบรรพบุรุษเพียง 2 ชนิด คือ กล้วยป่า และกล้วยตานี กล้วยที่มีกำเนิดจากกล้วยป่ามีจีโนมเป็น AA กล้วยที่มีกำเนิดจากกล้วยตานีมีจีโนมเป็น BB ส่วนกล้วยที่เกิดจากลูกผสมของกล้วยทั้ง 2 ชนิดจะมีจีโนมแตกต่างกันไป นอกจากนี้ ซิมมอนด์และเซปเฟดได้เสนอให้ใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั้งหมด 15 ลักษณะ มาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา คือ สีของกาบใบ ร่องของกาบใบ ก้านช่อดอก ก้านดอก ออวูล ไหล่ของกาบปลี การม้วนของกาบปลี รูปร่างของกาบปลี ปลายของกาบปลี การขีดของกาบปลี รอยแผลของกาบปลี กลีบรวมเดี่ยว สีของดอกเพศผู้ สีของยอดเกสรเพศเมีย และสีของกาบปลี

การจำแนกตามวิธีการนำมาบริโภค

การจำแนกกล้วยตามวิธีการนำมาบริโภคสามารถแบ่งกล้วยออกเป็น 2 กลุ่มคือ กล้วยกินสด เป็นกล้วยที่เมื่อสุกสามารถนำมารับประทานได้ทันที โดยไม่ต้องนำมาทำให้สุกด้วยความร้อน เพราะเมื่อสุก เนื้อจะนิ่ม มีรสหวาน เช่น กล้วยไข่ กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว และกล้วยที่ใช้ประกอบอาหาร เป็นกล้วยที่เมื่อดิบมีแป้งมาก เนื้อค่อนข้างแข็ง เมื่อสุกยังมีส่วนของแป้งอยู่มากกว่ากล้วยกินสดมาก เนื้อจึงไม่ค่อยนิ่ม รสไม่หวาน ต้องนำมาต้ม เผา ปิ้ง เชื่อม จึงจะทำให้อร่อย รสชาติดีขึ้น เช่น กล้วยกล้วย กล้วยหักมุก กล้วยเล็บช่างกูด

ในพื้นที่ เช่น ทวีปอเมริกาเหนือและทวีปยุโรป ผลไม้สกุล Musa ที่วางจำหน่ายได้แบ่งเป็น "กล้วย" และ "กล้วย" บนพื้นฐานของการนำไปใช้เป็นอาหาร ดังนั้น ผู้ผลิตและซีกิตา (Chiquita) ซึ่งเป็นผู้จัดจำหน่ายได้ผลิตวัสดุประชาสัมพันธ์สำหรับตลาดอเมริกาที่บอกว่า "กล้วยไม่ใช่กล้วย" ความแตกต่าง

นั่นคือกล้วยมีแป้งมากกว่าและหวานน้อยกว่า นิยมทานสุกกว่าทานครึ่งดิบ มีเปลือกหนาสีเขียว เหลือง หรือดำ ซึ่งสามารถใช้บอกสถานะของความสุกของกล้วยได้ ลิ้นเนยสได้สร้างความแตกต่างระหว่างกล้วยและกล้วยดั่งกล่าวขึ้นเมื่อแรกตั้งชื่อ "สปีชีส์" ทั้งสองของ Musa สมาชิกของพันธุ์กล้วย "กลุ่มย่อยกล้วย" ที่เป็นอาหารที่สำคัญมากในแอฟริกาตะวันตกและละตินอเมริกา มีลักษณะยาวแหลม ซึ่งมันได้รับการจำแนกว่าเป็นกล้วยแท้โดยพลอตซ์และคณะ (Ploetz et al.) ต่างจากกล้วยที่ใช้ประกอบอาหารพันธุ์อื่น กล้วยที่สูงแอฟริกาตะวันออก (East African Highland banana) ซึ่งเป็นกล้วยที่ใช้ประกอบอาหารในแอฟริกาตะวันออกนั้น จัดอยู่ในกลุ่มอื่น ดังนั้น จึงไม่มีคุณสมบัติเป็นกล้วยแท้ตามคำนิยามนี้

แนวทางหนึ่งที่จะแบ่งกล้วยออกเป็นกล้วยกินสดและกล้วยที่ใช้ประกอบอาหาร ซึ่งกล้วยเป็นกลุ่มย่อยหนึ่งของกล้วยที่ใช้ประกอบอาหาร คือ พันธุ์ปลูก triploid กำเนิดมาจาก *M. acuminata* เพียงลำพังจะเป็นกล้วยกินสด ในขณะที่ พันธุ์ปลูก triploid ที่เป็นลูกผสมระหว่าง *M. acuminata* และ *M. balbinosa* (โดยเฉพาะกลุ่มย่อยกล้วยเป็นกลุ่มย่อยของกลุ่ม AAB) เป็น "กล้วย" (ในที่นี้หมายถึงกล้วยที่ใช้ประกอบอาหาร) เกษตรกรรายย่อยในประเทศโคลอมเบียปลูกพันธุ์กล้วยหลากหลายมากกว่าสวนเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ จากการศึกษาพันธุ์ปลูกเหล่านี้แสดงว่ากล้วยสามารถจัดกลุ่มได้อย่างน้อยสามกลุ่มตามพื้นฐานของลักษณะ ได้แก่ กล้วยกินสด กล้วยที่ใช้ประกอบอาหารที่ไม่ใช่กล้วย และกล้วย แม้ว่าจะมีการคาบเกี่ยวกันระหว่างกล้วยกินสดและกล้วยที่ใช้ประกอบอาหาร

ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ศูนย์กลางความหลากหลายของกล้วย ทั้งกล้วยป่าและกล้วยพันธุ์ ความแตกต่างระหว่าง "กล้วย" และ "กล้วย" กลับไม่มีความหมาย ตามข้อมูลของวาลมาเยอร์ (Valmayor) และคณะ กล้วยหลายพันธุ์ใช้ทั้งรับประทานสดและประกอบอาหาร กล้วยที่ใช้ประกอบอาหารที่มีแป้งมีขนาดเล็กกว่ากล้วยรับประทานสด ช่วงสี ขนาด และรูปทรง หลากหลายกว่ากล้วยที่ปลูกหรือขายในแอฟริกา ยุโรป หรืออเมริกา ภาษาเรียกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไม่แบ่งชี้ถึงความแตกต่างระหว่าง "กล้วย" และ "กล้วย" เหมือนอย่างในภาษาอังกฤษ (และภาษาสเปน) ดังนั้น ทั้งพันธุ์กล้วยหอมเขียว (Cavendish banana) ซึ่งเป็นกล้วยรับประทานสดที่รู้จักกันดี และพันธุ์กล้วยหิน (Saba banana) ที่นิยมใช้ประกอบอาหาร ถูกเรียกว่า pisang (ปีซาง) ในประเทศมาเลเซียและประเทศอินโดนีเซีย, กล้วย ในประเทศไทย และ chuoi (ชวย) ในประเทศเวียดนาม กล้วยเฟอ (Fe'i banana) ที่ปลูกและรับประทานในหมู่เกาะของมหาสมุทรแปซิฟิก มีต้นกำเนิดที่แตกต่างโดยสิ้นเชิงจากกล้วยโบราณและกล้วย กล้วยเฟอส่วนมากจะใช้ประกอบอาหาร แต่กล้วยคาราต (Karat banana) ที่มีลักษณะสั้นป้อม มีเปลือกสีแดงสดต่างจากกล้วยรับประทานสดทั่วไป ใช้กินสด

สรุปแล้ว ในเชิงพาณิชย์ในยุโรปและอเมริกา (แม้ไม่จัดเป็นพื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็ก) ได้แยกความแตกต่างระหว่าง "กล้วย" ซึ่งรับประทานสดและ "กล้วย" ที่ใช้ประกอบอาหาร ขณะที่ในพื้นที่อื่นๆ ของโลก โดยเฉพาะอินเดีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก มีกล้วยหลายชนิด และไม่มี การแยกความแตกต่างระหว่างกล้วยทั้งสองกลุ่ม และไม่มี การแยกคำในภาษาถิ่น กล้วยเป็นหนึ่ง ในกล้วยหลายชนิดที่ใช้ประกอบอาหาร ซึ่งไม่แตกต่างจากกล้วยรับประทานสด

การปลูกและการดูแลกล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ซึ่งเหมาะกับการปลูกในประเทศไทย ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส กล้วยจะชะงักการเจริญเติบโต หรือมีการเติบโตช้าลง รวมทั้งการออกดอกและติดผลจะช้าด้วย อนึ่ง กล้วยเป็นพืชที่มีแผ่นใบใหญ่ ดังนั้นจึงไม่ค่อยทนต่อแรงลม เพราะใบจะต้านลม ทำให้ใบแตกได้ ถ้าหากใบแตกมากจนเป็น ฝอย จะทำให้มีการสังเคราะห์อาหารได้น้อย ต้นไม่เจริญเท่าที่ควร ดังนั้นถ้าพื้นที่ที่มีลมแรงมาก ควรปลูกต้นไม้อื่นทำเป็นแนวกันลมให้ต้นกล้วย

ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกล้วยคือ ดินตะกอนธารน้ำที่ชาวบ้านเรียกว่า "ดินน้ำไหลทรายมูล" ซึ่งเป็นดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำ และการหมุนเวียนอากาศดี ถ้าดินเป็นดินเหนียว ควรใส่ปุ๋ยคอก จะทำให้ดินร่วนโปร่งขึ้น

ระยะปลูก

กล้วยเป็นพืชที่มีใบยาว หากปลูกในระยะใกล้กันมาก อาจทำให้ใบเกยกัน หรือซ้อนกัน ทำให้ได้รับแสงแดดไม่เพียงพอ และดูแลลำบาก การกำหนดระยะปลูกจึงควรคำนึงถึงเรื่องแสงแดด ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความต้องการของผู้ปลูกว่าต้องการปลูกกล้วยเพื่อเก็บเกี่ยวกี่ครั้ง หากต้องการเก็บเกี่ยวเพียงครั้งเดียวก็อาจปลูกถี่ได้ แต่ถ้าต้องการเก็บเกี่ยวหลายๆ ครั้ง ต้องปลูกให้ห่างกัน เพื่อมีพื้นที่สำหรับการแตกหน่อ

การปลูก

ขุดหลุมให้มีขนาดความ กว้าง 50 เซนติเมตร ลึก 50 เซนติเมตร นำดินที่ขุดได้กองตากไว้ 5 - 7 วัน หลังจากนั้นเอาดินชั้นบนที่ตากไว้ลงไปก้นหลุม ใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวแล้ว ให้สูงขึ้นมาประมาณ 20 เซนติเมตร คลุกเคล้าปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักกับดินชั้นบนที่ใส่ลงไป แล้วจึงเอาหน่อกล้วยที่

เตรียมไว้ วางที่ตรงกลางหลุม เอาดินล่างกลบ รดน้ำ และกดดินให้แน่น ยอดของหน่อควรสูงกว่าระดับดินประมาณ 10 เซนติเมตร ควรหั่นรอยแผลของหน่อให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน เพราะเมื่อโตเต็มที่และติดผล ผลจะเกิดในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับรอยแผล และอยู่ในทิศทางเดียวกัน เพื่อสะดวกในการทำงาน แต่หากเป็นต้นที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จะไม่มีทิศทางของรอยแผล ในการวางต้นจึงจำเป็นต้องมีทิศทาง

ถ้าหากพื้นที่นั้นเป็นดินเหนียว ควรทำการยกร่อง จะได้ระบายน้ำ และปลูกบนสันร่องทั้ง 2 ข้าง และเพื่อให้การปฏิบัติงานทำได้ง่าย ควรวางหน่อให้กล้วยออกเครือไปทางกลางร่อง

การกำจัดหน่อ

เมื่อต้นกล้วยมีอายุได้ 4 - 6 เดือน จะเริ่มมีการแตกหน่อ หน่อที่เกิดมาเรียกว่า หน่อตาม (follower) กล้วยบางพันธุ์ที่มีหน่อมาก ควรเอาหน่อออกบ้าง เพื่อมิให้หน่อแย่งอาหารจากต้นแม่ ควรเก็บหน่อไว้ 1 - 2 หน่อ เพื่อให้เป็นตัวพวงต้นแม่เมื่อมีลมแรง และเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีต่อไป วิธีการกำจัดหน่ออาจใช้เสียมที่คมหรือมีดแซะลงไป หรือใช้มีดตัดหรือคว้านหน่อที่อยู่เหนือดิน แล้วใช้น้ำมันก๊าด หรือสารกำจัดวัชพืชหยอดที่บริเวณจุดเจริญ เพื่อมิให้มีการเจริญเป็นต้น แต่ไม่ควรแซะหน่อในระหว่างการออกดอก เพราะต้นอาจกระทบกระเทือนได้

นอกจากการกำจัดหน่อแล้ว ควรตัดใบที่แห้งออก เพราะถ้าทิ้งไว้อาจเป็นแหล่ง สะสมโรค ใน 1 ต้น ควรเก็บใบไว้ประมาณ 7 - 12 ใบ

การให้ปุ๋ย

กล้วยเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารมาก การติดผลจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอาหารและน้ำที่ได้รับ ดังนั้นควรบำรุงโดยใส่ปุ๋ย ทั้งปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี ตั้งแต่เริ่มปลูก ในระยะแรกควรให้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนมากในช่วง 2 เดือนแรก โดยให้ปุ๋ยยูเรียเดือนละครั้ง และเดือนที่ 3 และ 4 ให้ปุ๋ยสูตร 15 - 15 - 15 ต้นละ 1-2 กิโลกรัม ส่วนในเดือนที่ 5 และ 6 ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 13 - 13 - 21 ต้นละ 1-2 กิโลกรัม

การค้ำยัน

กล้วยบางพันธุ์มีผลตมมาก โดยมีจำนวนหวีมากและผลใหญ่ ต้นที่มีขนาดเล็ก หากไม่ค้ำไว้ ต้นอาจล้ม ทำให้เครือหักได้ เช่น กล้วยหอมทอง กล้วยไข่ จำเป็นต้องค้ำบริเวณโคนเครือกล้วยไว้ โดยใช้ไม้ไผ่หรือไม้อื่นที่มีง่าม

การให้ผล

กล้วยจะออกดอกเมื่ออายุต่างกันตามชนิดของกล้วย เช่น กล้วยไข่ เริ่มออกดอกเมื่ออายุประมาณ 5 - 6 เดือน และกล้วยหอมทองจะเริ่มออกดอกเมื่ออายุได้ประมาณ 6 - 7 เดือน ส่วนกล้วยน้ำว้า และกล้วยหักมุกใช้เวลาานกว่า และผลจะแก่ ในระยะเวลาที่ต่างกัน

การคลุมถุง

ถ้าหากปลูกกล้วยเพื่อการส่งออก ควรทำการคลุมถุง ถุงที่ใช้ควรเป็นถุงพลาสติกสีฟ้าขนาดใหญ่ และยาวกว่าเครือกล้วย เจาะรูเป็นระยะๆ และเปิดปากถุง ทำให้มีอากาศถ่ายเทได้ ถ้าหากไม่เจาะรูและปิดปากถุง อาจทำให้กล้วยเน่าได้

3.4 มะละกอ

มะละกอ เป็นไม้ผลชนิดหนึ่ง สูงประมาณ 5-10 เมตร มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ถูกนำเข้าสู่ประเทศไทยในสมัยกรุงศรีอยุธยา ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกแล้วเนื้อในจะมีสีเหลืองถึงส้ม นิยมนำมารับประทานทั้งสดและนำไปปรุงอาหาร เช่น ส้มตำ ฯลฯ หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ก็ได้

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร:	Plantae
หมวด:	Magnoliophyta
ชั้น:	Magnoliopsida
อันดับ:	Brassicales
วงศ์:	Caricaceae

สกุล: Carica
 ชนิด: C. papaya
 ชื่อทวินาม: Carica papaya

ลักษณะทั่วไป

มะละกอเป็นไม้ล้มลุก (บางครั้งอาจเข้าใจผิดว่าเป็นไม้ยืนต้น) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยว 5-9 แฉก เกาะกลุ่มอยู่ด้านบนสุดของลำต้น ภายในก้านใบและใบมียางเหนียวสีขาวอยู่ มะละกอบางต้นอาจมีดอกเพียงเพศเดียว แต่บางต้นอาจมีดอกได้ทั้งสองเพศก็ได้ ผลเป็นรูปรี อาจหนักได้ถึง 9 กิโลกรัม ผลดิบมีสีเขียว และมีน้ำยางสีขาวสะสมอยู่ที่เปลือก ส่วนผลสุก เนื้อในจะมีสีเหลืองถึงส้ม มีเมล็ดสีดำเล็ก ๆ อยู่ภายในกินไม่ได้

การปลูก

ไถพื้นที่เพื่อปราบวัชพืช 2 ครั้ง ครั้งแรกไถกลบ ครั้งที่ 2 ไถพรวนย่อยดินให้ร่วน จากนั้นวัดระยะปลูก โดยทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้ระยะ 2.50 x 2.50 เมตร หรือ 2.00 x 2.00 เมตร การปลูกถี่ จะทำให้ขนาดของผลเล็กลง ชูดหลุมสีเหลี่ยมขนาดกว้าง 50 ยาว 50 และลึก 50 เซนติเมตร ผสมดินปากหลุมกับปุ๋ยคอกประมาณครึ่งปีป ใส่ปุ๋ยร็อกฟอสเฟต (หินฟอสเฟต) อัตรา 150-250 กรัมต่อหลุม และปุ๋ยกรด 15-15-15 อัตรา 20 กรัมต่อหลุม ปลูกต้นกล้าที่เตรียมไว้แล้วกลบดินในระดับเท่ากับดินในถุง ไม่ควรปลูกถี่จะทำให้รากเน่า ปลูกหลุมละ 2-3 ต้น เมื่อมะละกอแสดงเพศแล้วจึงถอนแยกทีหลังให้เหลือต้นกระเทยไว้หลุมละ 1 ต้น

การเก็บเกี่ยว

สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 7 - 8 เดือน ผลจะทยอยแก่ไปเรื่อย ๆ มะละกอจะมีอายุยืนยาวมากขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา ปกตินิยมเก็บเกี่ยวจนเมื่อต้นอายุได้ประมาณ 1.5-2 ปี แล้วปลูกใหม่ เนื่องจากต้นจะสูงขึ้น ผลเล็กลงและผลผลิตก็ลดลงเช่นกัน ผลผลิตเฉลี่ยทั่วไปประมาณ 2.5-3 ตัน/ไร่ ถ้าเก็บผลดิบจะได้ผลผลิตสูงกว่า ถ้าปลูกถี่จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมักไม่ติดผลในฤดูแล้งเนื่องจากขาดน้ำ การเก็บเกี่ยวควรใช้กรรไกรหรือมีดตัดขั้วผลให้ติดต้น ไม่ควรบิด จะทำให้ขั้วเข้าและเชื้อราเข้าทำลาย ทำให้ต้นเน่าเสียหายได้ ผลที่ใช้รับประทานสุกควรเก็บเมื่อผิวมีสีส้มหรือเหลืองประมาณ 5% ของพื้นที่ผิว เพื่อการขนส่งไกล ๆ

3.5 อ้อย

อ้อย หรือ อ้อยแดง (อังกฤษ: Sugar-cane, ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccharum officinarum* Linn. POACEAE) ชื่ออื่นคือ อ้อยขม หรืออ้อยดำ เป็นไม้ล้มลุก สูง 2-5 เมตร ลำต้นสีม่วงแดง มีไขสีขาวปกคลุม ไม่แตกกิ่งก้าน ใบเดี่ยว เรียงสลับ กว้าง 2.5-5 ซม. ยาว 0.5-1 เมตร ดอกช่อ ออกที่ปลายยอด สีขาว ผลเป็นผลแห้ง ขนาดเล็ก

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร: Plantae

หมวด: Magnoliophyta

ชั้น: Liliopsida

อันดับ: Poales

วงศ์: Poaceae

สกุล: *Saccharum*

Species:

Saccharum arundinaceum

Saccharum bengalense

Saccharum edule

Saccharum officinarum

Saccharum procerum

Saccharum ravennae

Saccharum robustum

Saccharum sinense

Saccharum spontaneum

สายพันธุ์

อ้อยมีหลายพันธุ์แตกต่างกันที่ความสูง ความยาวของข้อและสีของลำต้น อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก อ้อยที่นำมาคั้นน้ำสำหรับดื่ม เป็นอ้อยที่ปลูกบริเวณที่ราบลุ่ม พื้นที่ดินเหนียว ประชาชนเรียกว่า อ้อยเหลือง หรือ อ้อยสิงคโปร์ นิยมปลูกกันมากในบริเวณจังหวัดอ่างทอง พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี และนครปฐม เป็นต้น

พ.ศ. 2550 ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี) กรมวิชาการเกษตร ดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อยขึ้นมาใหม่ คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 80 ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์แม่ 85-2-352 กับพันธุ์พ่อ K84-200 ใช้ระยะเวลาคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์นานกว่า 11 ปี มีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตในอ้อยปลูกน้ำหนักเฉลี่ย 17.79 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.66 ตันซีซีเอส/ไร่ นอกจากนี้ยังสามารถต้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดงและโรคแสดำได้ระดับปานกลางด้วย

สรรพคุณสมุนไพร

ตำรายาไทยใช้ลำต้นเป็นยาขับปัสสาวะ โดยใช้ลำต้นสด 70-90 กรัม หรือแห้ง 30-40 กรัม หั่นเป็นชิ้น ต้มน้ำ แบ่งดื่มวันละ 2 ครั้งก่อนอาหาร แก้ไตพิการ หนองในและขับนิ่ว แพทย์พื้นบ้านใช้ขับเสมหะ รายงานว่าอ้อยแดงมีฤทธิ์ขับปัสสาวะในสัตว์ทดลอง

3.6 ผักกาดขาว

ชื่อไทย: ผักกาดขาว

ชื่อสามัญ: Chinese Cabbage

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Brassica pekinensis*

ชื่อพฤกษศาสตร์: *Brassica rapa* L. cv. group Chinese cabbage

ชื่อวงศ์: Cruciferae

ชื่ออื่น ๆ: ผักกาดขาวปลี แป๊ะฉ่าย แป๊ะฉ่ายล้วย

แหล่งกำเนิดและการกระจายพันธุ์: จีน

ผักกาดขาวเป็นผักที่อยู่ในตระกูล Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica pekinensis* มีชื่อเรียกกันหลายชื่อ เช่น ผักกาดขาวปลี แป๊ะฉ่าย แป๊ะฉ่ายล้วย เป็นต้น เป็นพืชอายุปีเดียว มีระบบรากตั้งใบมีลักษณะห่อปลียาวหรืออาจห่อกลม ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ใบมีสีเขียวถึงสีเขียวอ่อน เป็นพืชวันยาว ดอกมีสีเหลืองยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ผักกาดขาวส่วนใหญ่มีการผสมข้ามโดยแมลงและผึ้ง

ผักกาดขาวมีถิ่นกำเนิดในตอนเหนือของประเทศจีนแผ่นดินใหญ่ จากนั้นก็แพร่ออกไปสู่ประเทศในแถบเอเชีย โดยมีเส้นทางสำคัญ 2 สาย คือ ทางตะวันออก ซึ่งมีเส้นทางแพร่ไปสู่ประเทศเกาหลี แล้วแพร่เข้าสู่ประเทศญี่ปุ่น ส่วนอีกทางหนึ่งเป็นเส้นทางแพร่กระจายผ่านภาคกลางแล้วลงสู่

ภาคใต้ของประเทศไทย จากนั้นก็เข้าสู่ประเทศไต้หวันและเผยแพร่ไปสู่ประเทศต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ ตลอดจนแหลมอินโดจีน ได้แก่ ประเทศไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ เมื่อตอนก่อน สงครามโลกครั้งที่ 2 เล็กน้อย ในศตวรรษที่ 10 มีผู้คนรู้จักผักกาดขาวพันธุ์กะเพาะงั่ว Shino hara (1984) อ้างถึงชื่อเขียนของ Li (1981) ว่าในศตวรรษที่ 20 ที่เมืองหางโจว อันเป็นทางภาคใต้ซึ่ง เชื่อมโยงกับเมืองเทียนจินนั้นผู้คนรู้จักผักกาดขาวพันธุ์กะเพาะงั่ว ซึ่งถือเป็นพันธุ์ต้นกำเนิดของ ผักกาดขาวทั้งหลายในเวลาต่อมา สำหรับปัจจุบันผักกาดขาวได้ถูกพัฒนาพันธุ์ขึ้นให้เหมาะสมกับ สภาพแวดล้อมในแต่ละประเทศ แต่ละท้องถิ่น โดยรักษาให้มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูง

ผักกาดขาว นับเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย ส่วนที่ใช้บริโภคคือ ส่วนของใบ ซึ่งมีลักษณะเป็นผืนเดียวกันตลอด มีก้านใบ กว้างและแบน ผักกาดขาวนอกจากจะใช้บริโภคสด และประกอบอาหารได้หลายอย่างแล้วยังเป็นผักที่นำมาใช้แปรรูปเป็นผักตากแห้งและกิมจิ ตลอดจนเป็นผักที่ใช้ในอุตสาหกรรมรูปอื่นๆ อีก

พันธุ์ผัก

พันธุ์ผักกาดขาวจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะรูปร่างของปลี สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยแบ่งได้ 3 พวกใหญ่ๆ ตามลักษณะของปลี

1) พวกปลียาว ปลีมีลักษณะทรงสูง รูปไข่ ได้แก่ พันธุ์มิซึชิหรือผักกาดหางหงส์, ผักกาดโสมถน, ผักกาดขาวปลีฝรั่ง เป็นต้น

2) พวกปลีกลม ปลีมีลักษณะทรงสั้นและอ้วนกลมกว่าพวกปลียาว ได้แก่ พันธุ์ซาลาเตียไฮบริด, พันธุ์ทรอปิคอล ไพรด์ ไฮบริด ฯลฯ ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เบา มีอายุสั้น

3) พวกปลีหลวมหรือไม่ห่อปลี ส่วนมากเป็นผักพื้นเมืองของเอเชีย ผักกาดขาวพวกนี้มักไม่ห่อเป็นปลี สามารถปลูกได้แม้อากาศไม่หนาว ฝนตกชุก สำหรับความอร่อยน่ากินและการเก็บรักษาได้นาน ผู้ผักกาดขาวพวกเข้าปลีไม่ได้ ทำให้ปริมาณในปัจจุบันลดลง ได้แก่ พันธุ์ผักกาดขาวใหญ่ (อายุ 45 วัน) ผักกาดขาวธรรมดา (อายุ 40 วัน) เป็นต้น

พันธุ์ผักกาดขาวที่เกษตรกรนิยมใช้ได้แก่ ตราดอกโบตั๋น ตราช้าง ตราเครื่องบิน ตราเครื่องบินพิเศษ พันธุ์เทียนจินและพันธุ์เทียนจินเบอร์ 23 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ทนร้อนได้ปานกลาง

สภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสม

ผักกาดขาวเป็นผักที่มีอายุปีเดียว ในประเทศไทยสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนที่มีการระบายน้ำดีและมีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ในช่วงพอเหมาะประมาณ 6 - 6.8 ต้องการน้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอและควรได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 15 - 22 องศาเซลเซียส

การเตรียมดิน

แปลงเพาะกล้า ทำการไถดินบนแปลง แล้วตากดินทิ้งไว้ประมาณ 5 - 7 วัน หลังจากนั้นหว่านปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วให้มาก คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน พรุนย่อยดินให้ละเอียดโดยเฉพาะผิวหน้าดิน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดผักกาดขาวซึ่งมีขนาดเล็กตกในดินลึกเกินไปเมื่อปลูกโดยวิธีหว่านแปลงปลูก ทำการไถดินหรือขุดดินให้ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน แล้วทำการไถพรุนดินอีกครั้ง ใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วพร้อมกับคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ถ้าดินเป็นดินทรายควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักให้มากขึ้น อัตราการใช้ประมาณ 2 ปีดต่อตารางเมตรหรือถ้าใช้มูลเป็ด ไก่ หรือสุกร ให้ลดปริมาณการใส่ลงมาเหลือตารางเมตรละ 1 ปีดก็พอ คลุกเคล้าให้เข้ากัน ใส่กรณีที่ดินเป็นดินเปรี้ยวหรือดินเป็นกรดควรใส่ปูนขาวในอัตราประมาณ 40 กิโลกรัมต่อไร่

ระบบปลูกและระยะปลูก

ระบบการปลูกผักกาดขาวในประเทศไทยสามารถทำได้ 3 แบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่นำมาปลูกและสภาพพื้นที่

- 1) แบบหว่านกระจายทั่วแปลง การปลูกแบบนี้ใช้ในกรณีที่ใช้พันธุ์ผสมทั่วๆ ไปมาปลูก เมล็ดพันธุ์มีราคาไม่แพง และโดยเฉพาะในท้องที่ภาคกลางที่ยกแปลงกว้าง มีร่องน้ำ
- 2) แบบแถวเดียว เหมาะสำหรับการปลูกแบบโรยเป็นแถวหรือย้ายกล้า กรณีใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสมที่มีราคาแพง ในท้องที่ที่ปลูกผักแบบไร่
- 3) แบบแถวคู่ เหมาะสำหรับการปลูกแบบหยอดเมล็ดหรือย้ายกล้า กรณีใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสมที่มีราคาแพง เช่น ในเขตท้องที่ภาคเหนือที่นิยมยกแปลงปลูกแคบ

สำหรับระยะปลูกที่เหมาะสมสำหรับปลูกผักกาดขาวในประเทศไทยก็คือ ระหว่างแถว 50 เซนติเมตร และระหว่างต้น 50 เซนติเมตร

การปลูก

การปลูกผักกาดขาวสามารถทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ การปลูกลงบนแปลงปลูกโดยตรง และการปลูกโดยการเพาะกล้าก่อนแล้วย้ายไปปลูกในแปลงปลูก จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกและความเหมาะสมของปัจจัยของเกษตรกรเอง เช่น แรงงาน ลักษณะของแปลง และจำนวนเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น

การปลูกลงบนแปลงปลูกโดยตรง การปลูกผักกาดขาวด้วยวิธีนี้มี 2 แบบ คือ

1) แบบหว่านโดยตรง โดยการหว่านเมล็ดพันธุ์ให้กระจายทั่วทั้งแปลง ซึ่งการปลูกแบบนี้เหมาะสำหรับกรณีที่เมล็ดพันธุ์มีราคาไม่แพง และโดยเฉพาะในท้องที่ภาคกลางที่ยกแปลงกว้าง มีร่องน้ำ การหว่านควรหว่านให้เมล็ดกระจายสม่ำเสมอ โดยทั่วไปนิยมผสมพวกทรายหรือเมล็ดผักที่เสื่อมคุณภาพแล้วที่มีขนาดพอๆ กันลงไปด้วย เพื่อให้เมล็ดพันธุ์กระจายได้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น จากนั้นใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักหว่านทับลงไปหนาประมาณ 1/2 - 1 เซนติเมตร เพื่อช่วยรักษาความชื้น เสร็จแล้วจึงคลุมด้วยฟางแห้งสะอาดบางๆ อีกชั้นหนึ่งรดน้ำด้วยบัวฝอยละเอียดให้ทั่วถึงสม่ำเสมอ หลังจากต้นกล้างอกและมีใบจริง 1-2 ใบควรถอนแยกเพื่อจัดระยะปลูกและถอนแยกครั้งสุดท้ายไม่ควรปล่อยให้กล้ามีอายุเกิน 25-30 วัน โดยจัดระยะปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถวประมาณ 50 x 50 เซนติเมตร

2) แบบปลูกเป็นแถวหรือหยอดเป็นหลุม โดยการหยอดเมล็ดให้เป็นแถวบนแปลงปลูก โดยให้ระยะระหว่างแถวห่างกัน 50 เซนติเมตร หยอดเมล็ดลึกประมาณ 1/2 - 1 เซนติเมตร หรือทำเป็นหลุมตื้น ๆ หยอดเมล็ดลงประมาณ 3-5 เมล็ด ใช้ดินกลบให้หนา 1/2 เซนติเมตร ใช้หญ้าแห้งหรือฟางคลุมบาง ๆ รดน้ำด้วยบัวฝอยละเอียด เมื่อต้นกล้าเริ่มมีใบจริง 2 ใบ ให้ทำการถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น ให้ได้ระยะต้นในแต่ละแถวเท่ากับ 50 เซนติเมตร และถอนแยกครั้งสุดท้ายอายุไม่ควรเกิน 30 วัน

การปลูกโดยการเพาะกล้าแล้วย้ายกล้าไปปลูก การปลูกผักกาดขาวด้วยวิธีนี้จะประหยัดเมล็ดพันธุ์ได้มาก โดยเฉพาะถ้าเป็นการปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสมที่มีราคาแพง

หลังจากเตรียมดินแปลงเพาะกล้าเรียบร้อยแล้ว ให้หว่านเมล็ดให้ทั่วพื้นผิวแปลง แล้วใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วหว่านกลับให้หนาประมาณ 1/2 - 1 เซนติเมตร หรืออาจใช้วิธีหยอดเมล็ดเป็นแถวห่างกันแถวละประมาณ 5-10 เซนติเมตร ลึกลงไปในดินประมาณ 1/2 - 1 เซนติเมตร เมล็ดควรโรยให้ห่างกันพอสมควร แล้วหว่านกลบด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักหรือดินผสมแล้วรดน้ำด้วยบัวฝอยละเอียดให้ทั่วแปลง คลุมแปลงด้วยหญ้าแห้งหรือฟางสะอาดบางๆ เพื่อช่วยเก็บรักษาความชื้นในดินและป้องกันการกระแทกของน้ำต่อเมล็ดและต้นกล้าที่ยังเล็กอยู่

เนื่องจากกล้าผักกาดขาวค่อนข้างอ่อนแอ ดังนั้นควรย้ายชำลงถุงพลาสติกหรือกระถางก่อนเมื่อกล้าอายุประมาณ 20-25 วัน จากนั้นหมั่นดูแลรักษาและป้องกันโรคแมลงที่อาจเกิดขึ้น ก่อนการย้ายกล้าลงปลูกในแปลงควรทำให้กล้าแข็งแรง โดยการนำต้นกล้าออกตากแดดบ้าง อายุกล้าที่เหมาะสมในการย้ายปลูกคือ 30-35 วัน ไม่ควรใช้กล้าที่มีอายุมากเกินไป การย้ายกล้าไปปลูกควรย้ายในช่วงบ่ายๆ ถึงเย็น หรือช่วงที่อากาศมีดึกครึ้ม นำต้นกล้าปลูกในแปลงปลูกที่เตรียมไว้แล้ว โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถว 50 x 50 เซนติเมตร หลังจากปลูกเสร็จแล้วใช้ฟางหรือหญ้าแห้งคลุมดินอีกชั้นหนึ่ง เพื่อช่วยรักษาความชื้นในดินและผักตั้งตัวได้เร็ว แล้วรดน้ำด้วยบัวฝอยละเอียดการปลูกด้วยวิธีการเพาะกล้าก่อนนำไปปลูกนี้จะทุนค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปุ๋ย และปลูกได้เป็นระเบียบสวยงาม การดูแลและทำงานได้ประณีตขึ้นทำให้ได้ผลผลิตดีขึ้น ทุนเวลาและแรงงานที่จะดูแลรักษาในขณะที่ยังเป็นต้นกล้าอยู่ แต่ในเวลาย้ายปลูกจะต้องใช้แรงงานมากในการปลูกให้รวดเร็ว

การปฏิบัติดูแลรักษา

การให้น้ำ ผักกาดขาวต้องการน้ำมากและสม่ำเสมอเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูก ดังนั้นควรให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ โดยในระยะแรกเมื่อผักกำลังงอกควรให้น้ำวันละ 3-4 ครั้ง เพื่อให้หน้าดินอ่อนสะดวกแก่การงอกของเมล็ด เมื่อผักมีอายุเกิน 7 วันไปแล้ว ก็ลดลงเหลือให้วันละ 3 ครั้ง พออายุเกิน 1 เดือนไปแล้วให้น้ำเพียงวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น ไม่ควรให้น้ำในเวลาสายๆ ที่แดดจัดเพราะน้ำอากร้อนทำให้ผักกาดขาว ซึ่งบางเสียหายได้ง่าย การให้น้ำควรใช้บัวรดน้ำหรือฉีดพ่นเป็นฝอยด้วยเครื่อง แต่อย่าให้ฉีดแรงนัก เพราะอาจจะเป็นอันตรายต่อผักได้ การให้น้ำผักกาดขาวระยะที่ควรระวังที่สุดก็คือ ในช่วงที่ผักกาดขาวกำลังห่อปลีไม่ควรให้ขาดน้ำอย่างเด็ดขาด เพราะจะทำให้การห่อปลีและการเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์

การใส่ปุ๋ย เนื่องจากผักกาดขาวเป็นผักกินใบ ดังนั้นควรให้ปุ๋ยที่มีสัดส่วนของธาตุไนโตรเจนพอสฟอรัส และโปแตสเซียมในอัตรา 2:1:1 เช่น ปุ๋ยสูตร 20-10-10 หรือสูตรใกล้เคียง โดยให้ในอัตรา

ประมาณ 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณปุ๋ยคอกที่ใช้ โดยแบ่งใส่เป็น 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นจำนวนครั้งหนึ่ง โดยใส่ตอนเตรียมดินปลูก และครั้งที่ 2 ใส่เมื่อผักกาดขาวมีอายุ 20 วัน

สำหรับผักกาดขาวพันธุ์ปลีขาวและปลีกลมควรให้ปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ยูเรียหรือแอมโมเนียมไนเตรท ในอัตรา 20-30 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อกล้าอายุได้ 30-40 วัน โดยการหว่านหรือโรยข้างต้นก็ได้ แล้วรดน้ำตามทันที แต่ระวังอย่าให้ปุ๋ยตกค้างอยู่ที่ใบเพราะจะทำให้ใบไหม้

การเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยวของผักกาดขาวนั้นไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ของแต่ละพันธุ์คือ พันธุ์ที่เข้าปลีหลวมๆ มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 40-50 วัน หลังจากหว่านเมล็ด โดยเลือกเก็บเกี่ยวต้นเริ่มแก่เต็มที่ได้น้ำหนัก สำหรับพันธุ์ปลีขาวและปลีกลมมีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 50-80 วันหลังจากหว่านเมล็ด โดยเก็บขณะที่ปลีห่อแน่นเต็มที่ก่อนที่ปลีจะเริ่มคลายตัวหลวมออก วิธีการเก็บเกี่ยวโดยใช้มีดคมๆ ตัดที่โคนต้น แล้วตัดแต่งใบที่เป็นโรคถูกแมลงทำลายออกบ้างพอสมควร แต่ไม่มากนัก ควรเหลือใบนอกๆ ไว้สัก 2-3 ใบ เพื่อป้องกันการกระทบกระแทกระหว่างการขนส่ง

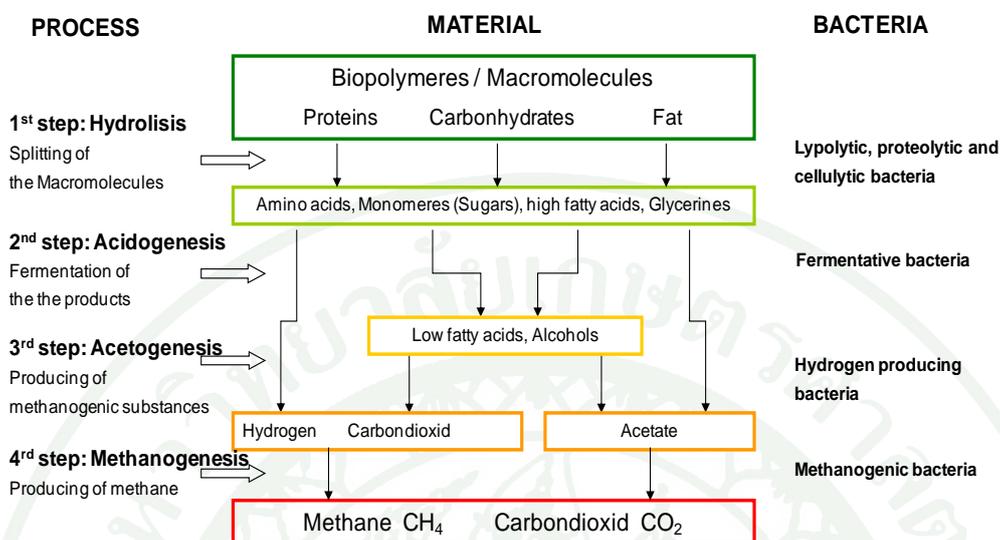
4. การหมักแบบไร้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เรียกว่า จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria) หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ เป็นการที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้น ๆ ไป

กระบวนการหมักในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน (Danner W., 2008) แสดงภาพที่ 1 ดังนี้

Biochemical Process of Anaerobic digestion



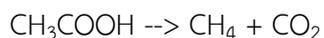
ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการหมักในสภาวะไร้อากาศ 4 ขั้นตอน

1) ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis): สารอินทรีย์ (เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่นการย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

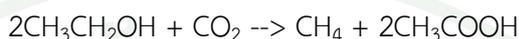
2) แอซิติฟิเคชัน หรือ แอซิโดเจเนซิส (Acidification/ Acidogenesis): การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer) เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3) อะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis) เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

4) เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis): กรดอะซิติก และอื่นๆ จากชั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยเมทาโนเจน (methanogen)



กรดอะซิติก มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์



เอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน กรดอะซิติก



คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน น้ำ

แบคทีเรียเมทาโนเจนิกหรือเมทาโนเจน (Methanogenic bacteria หรือ methanogens) เมทาโนเจน คือแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ในวงจรชีวิตของมัน เมทาโนเจนจะย่อยสลายอาหารและปล่อยก๊าซต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงมีเทนด้วย เมทาโนเจน มีอยู่หลายชนิดโดยแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลัก ๆ ตามลักษณะทางเซลล์วิทยา (cytology) (Alexander, 1961)

Rod-shaped Bacteria

(a) Non-sporulating, Methanobacterium

(b) Sporulating, Methanobacillus

Spherical

(a) Sarcinae, Methanosarcina

(b) Not in Sarcinal groups, Methanococcus

Methanogen นั้นพัฒนาและเพิ่มจำนวนได้ช้า ทั้งยังค่อนข้างอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทั้งทางกายภาพ หรือทางเคมี ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อกรเพิ่มจำนวนและการเกิดก๊าซ อย่างไรก็ตามเมทาโนเจนนั้นสามารถอยู่ได้โดยไม่มีอาหารเพิ่มเติมได้นานเป็นเดือน

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Amon T. et al. (2006) ได้ศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศของพืชพลังงานต่างๆ ในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนแบบยั่งยืน โดยศึกษาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดเป็น $m_N^3 CH_4 ha^{-1}$ ของพืชพลังงานสายพันธุ์ต่าง ๆ หาช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่ดีที่สุดที่ให้ก๊าซสูงสุด และหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของพืชแต่ละชนิดกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเพื่อใช้ในการทำนายปริมาณมีเทนเมื่อทราบองค์ประกอบทางเคมี พืชพลังงานที่ใช้ทดสอบ คือ ข้าวโพด 7 สายพันธุ์ ข้าวสาลีฤดูหนาว 2 สายพันธุ์ ข้าวพันธุ์ผสม Triticale สองสายพันธุ์ ข้าวไรฤดูหนาว 1 สายพันธุ์ ทานตะวัน 2 สายพันธุ์ หญ้า 6 สายพันธุ์ ผลการทดสอบพบว่าพืชที่ให้อัตราการเกิดก๊าซสูงสุดคือ ข้าวโพด FAO 300 และ 600 ที่เก็บเกี่ยวช่วงแก่เต็มที่ โดยมีอัตราการเกิดก๊าซระหว่าง 7,500-10,200 $m_N^3 CH_4 ha^{-1}$ อัตราการเกิดก๊าซของพืชตระกูลธัญพืชอยู่ระหว่าง 2,600-4,550 $m_N^3 CH_4 ha^{-1}$ หญ้าอัลไพน์มีอัตราการเกิดก๊าซ 2,700-3,500 $m_N^3 CH_4 ha^{-1}$

Amon T. et al. (2006) ได้ศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพจากข้าวโพดและมูลโคนม และอิทธิพลของส่วนประกอบชีวมวลที่มีต่ออัตราการเกิดก๊าซมีเทน โดยได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้มูลโคนม ในส่วนของข้าวโพด ใช้ข้าวโพดสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในที่ต่าง ๆ กัน และการเก็บเกี่ยวใน 3 ช่วงเวลาที่ต่างกัน คือ milk ripeness, wax ripeness และ full ripeness ในส่วนของมูลโคนม ใช้มูลจากโคนม 6 ชนิด ที่มีการป้อนอาหารแบบต่าง ๆ กัน และโคนมที่มีปริมาณน้ำนมต่าง ๆ กัน มีการวัดค่าต่าง ๆ คือ nutrient composition, gross energy, dry matter และ organic dry matter ในการทดลอง ได้แบ่งการทดลองเป็น 6 treatments 3 replicates การหมักใช้ถังหมักขนาด 1 ลิตร ใช้เวลาการหมัก 60 วัน ควบคุมอุณหภูมิการหมักไว้ที่ 38 C มีการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน ในหน่วย norm litre per kg of volatile solids; NL (kg VS)⁻¹ และวัดคุณภาพของก๊าซ (CH₄, H₂S, NH₃) และมีการประเมินการเกิดก๊าซมีเทนต่อพื้นที่ในหน่วย Nm₃ CH₄ ha⁻¹ จากผลการทดลองพบว่ามูลวัวได้จากโคนมช่วงที่ให้นมปานกลางที่ให้อาหารอย่างสมดุลให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 166.3 NL CH₄ kg VS⁻¹ ข้าวโพดช่วง early ถึง late ripening 13 สายพันธุ์ ปลูกในหลายพื้นที่ในออสเตรเลีย ข้าวโพดช่วง late ripening มี biomass มากกว่าช่วง medium หรือ ช่วง early ripening ในพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ของออสเตรเลียข้าวโพดมี biomass ถึง 30 Mg VS ha⁻¹ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะลดลงเมื่อพืชแก่มากขึ้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนช่วง milk ripeness อยู่ในช่วง 312-365 NL CH₄ kg VS⁻¹ ช่วง full ripeness 268-286 NL CH₄ kg VS⁻¹ ช่วงที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดได้ดีที่สุดคือช่วงที่ข้าวโพดมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนและอัตราของ VS ต่อ ha สูงสุด ซึ่งก็คือช่วง early ถึง medium ripening ช่วงที่เก็บเกี่ยวดีที่สุดคือ ช่วง end of wax ripeness อัตราการเกิดก๊าซ

ต่อเฮกแตร์สูงสุดจากข้าวโพดช่วง late ripening อยู่ระหว่าง 7,100-9,000 $\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ช่วง medium ripening อยู่ระหว่าง 5,300-8,500 $\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1}$

Kryvoruchko V. et al. (2008) ได้ศึกษาปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษเหลือทิ้งของหัวบีทและเศษเหลือทิ้งของมันฝรั่งจากกระบวนการทำแป้ง และผลของการอบด้วยไอน้ำก่อนการหมัก โดยศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนของเยื่อบีท (SBP) ส่วนปลายของบีท (SBT) เยื่อมันฝรั่ง (PP) เศษเปลือกมันฝรั่ง (PPP) และน้ำของมันฝรั่ง (PFW) โดยหมักในถังหมักขนาด 1 ลิตร ที่ 37.5 C เป็นระยะเวลา 28-38 วัน จากการทดลองได้ปริมาณก๊าซมีเทนของเยื่อบีท (SBP) และ ส่วนปลายของบีท (SBT) เท่ากับ 430 และ 481 $\text{l}_\text{N}/\text{kgVS}$ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนของเยื่อมันฝรั่ง (PP), เศษเปลือกมันฝรั่ง (PPP) และน้ำของมันฝรั่ง (PFW) คือ 332, 377 and 323 $\text{l}_\text{N}/\text{kgVS}$ ตามลำดับ และการอบด้วยไอน้ำก่อนการหมักมีนัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนของเยื่อมันฝรั่ง (PP) มากถึง 373 $\text{l}_\text{N}/\text{kgVS}$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

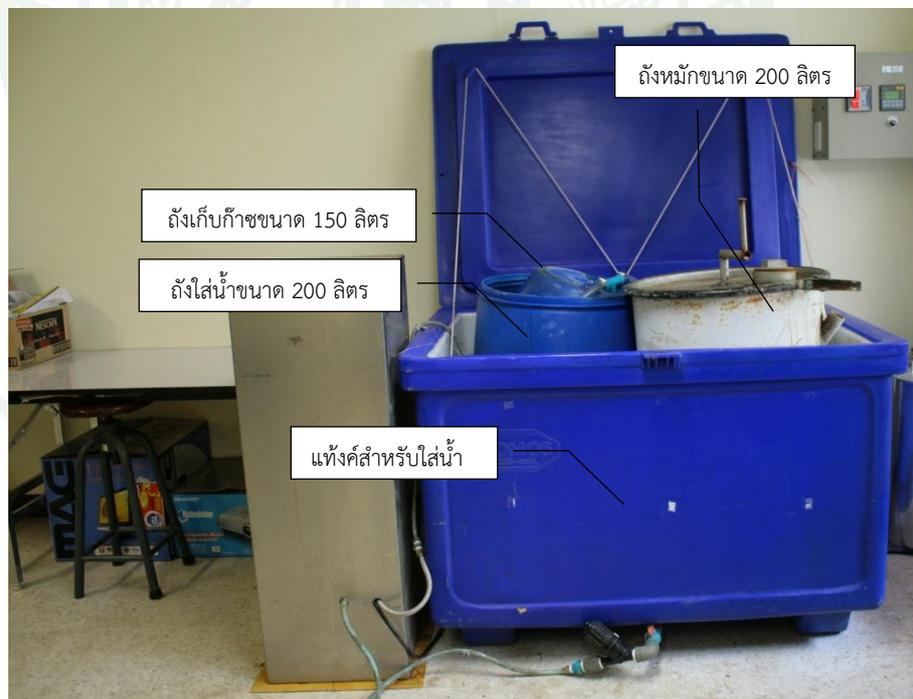
การทดลองการหาปริมาณไบโอแก๊ส ใช้วิธีการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ ตามรายการดังนี้

1. ชุดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

ประกอบด้วย

- ถังหมักขนาด 200 ลิตร จำนวน 1 ถัง
- ถังเก็บแก๊สขนาด 150 ลิตร จำนวน 1 ถัง (เก็บแก๊สโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ)
- แท็งค์สำหรับใส่น้ำเพื่อแช่ถังหมัก 1 แท็งค์
- ถังใส่น้ำ ขนาด 200 ลิตร สำหรับใส่น้ำแช่ถังเก็บแก๊ส 1 ถัง

ชุดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงชุดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

2. ชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำ

ประกอบด้วย

- ปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า
- เครื่องทำน้ำร้อน 1 เครื่อง
- เทอร์โมสแตทและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

รายละเอียดของชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำ แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

3. ถังหมัก 20 ลิตร

เป็นถังสแตนเลสรูปทรงกระบอก สูง 0.65 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.22 เมตร ติดตั้งไบกวนและมอเตอร์กวนบนฝาถัง มีช่องสำหรับวัด pH ของสารละลายในถังหมัก และช่องสำหรับติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของไบโอแก๊สที่เกิดขึ้นภายในถัง รายละเอียดของถังหมัก 20 ลิตร แสดงในภาพที่ 4 และภาคผนวก ค

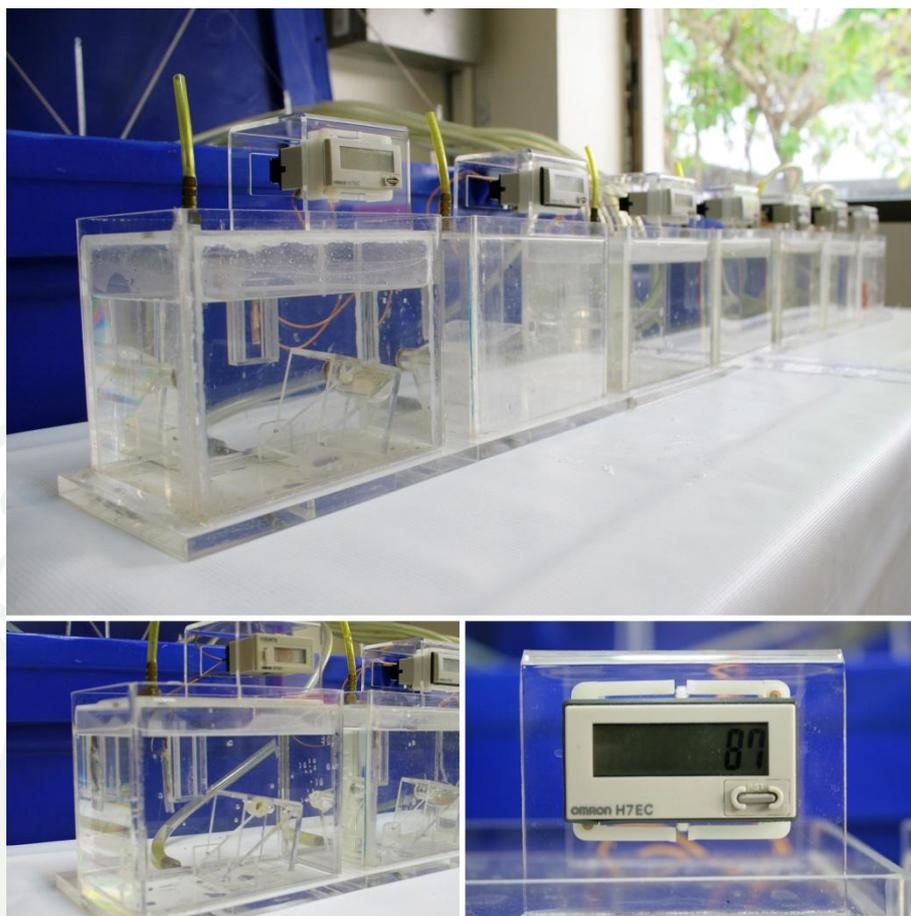


ภาพที่ 4 แสดงถังหมักขนาด 20 ลิตร

4. เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas flow meter)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ Flip-Flop และ Counter

หลักการทำงาน คือ ไบโอก๊าซที่เกิดขึ้นจากถังหมัก 20 ลิตร จะวิ่งตามสายยางเข้าทาง Inlet ของเครื่องวัดปริมาณก๊าซ และจะถูกเก็บไว้ที่อุปกรณ์ Flip-Flop จนก๊าซมีปริมาตร 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร อุปกรณ์ Flip-Flop จะหมุนหนึ่งครั้ง Counter จะนับ 1 ครั้ง ก๊าซปริมาตร 6 ลูกบาศก์เซนติเมตรนี้จะออกจากอุปกรณ์ Flip-Flop และเคลื่อนที่ต่อไปยังถุงเก็บก๊าซ (Air Bag) ทางด้าน Outlet ของเครื่องวัดปริมาณก๊าซ อุปกรณ์ Flip-Flop พร้อมทั้งจะรับไบโอก๊าซที่เกิดขึ้นต่อไป รายละเอียดของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงเครื่องวัดปริมาณก๊าซ

5. เครื่องวัดคุณภาพก๊าซ

เป็นเครื่องวัดองค์ประกอบของไบโอแก๊ส สามารถวัดก๊าซได้ 4 ชนิด เป็นเปอร์เซ็นต์ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เครื่องวัดคุณภาพก๊าซแสดงในภาพที่ 6



- CH₄
- CO₂
- O₂
- H₂S

ภาพที่ 6 แสดงเครื่องวัดคุณภาพก๊าซ

6. ถุงเก็บก๊าซ (Air bag)

เป็นถุงสำหรับเก็บไบโอแก๊สที่เกิดจากการทดลอง มีช่องสำหรับก๊าซเข้าออกได้ทางเดียว และสามารถล๊อคกันก๊าซออกได้ ลักษณะของถุงเก็บก๊าซแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงถุงเก็บก๊าซ

7. ชุดกวนสารละลาย

มีการกวนสารละลายในถังหมัก 20 ลิตร ทุก 15 นาที ใช้เวลากวน 15 นาที เพื่อแบคทีเรียย่อยสลายพืชพลังงานที่ป้อนได้อย่างทั่วถึง

ชุดกวนสารละลายประกอบด้วย

- Inverter แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- มอเตอร์ปั๊มน้ำฝรลยนต์
- สวิทซ์ตั้งเวลา (Timer switch)

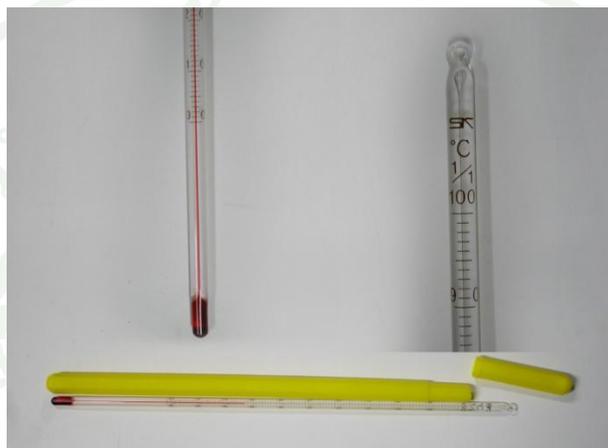
ชุดกวนสารละลายแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงชุดกวนสารละลาย

8. เทอร์โมมิเตอร์

เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของไอน้ำที่เกิดในถังหมัก 20 ลิตร มีสเกล 0-100 °C ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงเทอร์โมมิเตอร์

วิธีการ

1. การเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย การเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย โดยนำมูลสุกรใส่ในถังหมักขนาด 200 ลิตร ปริมาณ $\frac{1}{4}$ ของถัง แล้วเติมน้ำจนระดับน้ำห่างจากขอบถัง 5 เซนติเมตร เพื่อให้เหลือปริมาตรสำหรับก๊าซที่เกิด ปิดฝาถังให้แน่น ต่อกับชุดถังเก็บก๊าซ แซ่ถังหมักในน้ำซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 38°C ด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิ ที่ตั้งไว้จนเริ่มมีก๊าซเกิดขึ้น สังเกตได้จากการลอยขึ้นของถังเก็บก๊าซ แสดงว่าเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่ในมูลสุกรเริ่มทำงานแล้ว จากนั้น เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียโดยให้อาหารด้วยการป้อนพืชพลังงานชนิดใดชนิดหนึ่งที่บดละเอียดปริมาณประมาณ 1 กิโลกรัม ลงไปในถังหมักขนาด 200 ลิตร สังเกตก๊าซที่เกิดขึ้นในถังเก็บก๊าซเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ถ้ามีปริมาณก๊าซมากแสดงว่าเชื้อแบคทีเรียพร้อมที่จะทำงาน การเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

2. การคำนวณหาปริมาณพืชพลังงานที่ใช้ป้อนในถังหมัก 20 ลิตร

การใช้ส่วนประกอบของพืชในการทดลอง ดังนี้

- ข้าวโพด ใช้เฉพาะต้นและใบ ไม่ใช่ฝัก
- ถั่ว ใช้ลำต้นและใบ ไม่ใช่เครือหรือผล
- อ้อย ใช้เฉพาะลำต้น ไม่ใช่ใบ
- มะละกอ ใช้ผลที่สุก
- ผักตบชวา ใช้ใบและลำต้น ไม่ใช่ราก
- ผักกาดขาว ใช้ใบและลำต้น ไม่ใช่ราก

2.1) คำนวณหา Dry matter ของพืชทั้ง 6 ชนิด

การทำ Dry matter ของพืชทั้ง 6 ชนิด ทำได้โดยย่อยพืชแต่ละชนิดให้ละเอียดด้วยเครื่องย่อยเศษวัสดุ แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาคำนวณหา Dry matter จากสมการ (1)

$$\text{Dry matter, DM(\%)} = \frac{\text{Dry weight (g)}}{\text{Wet weight (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

2.2) คำนวณ Organic dry matter

$$\text{Organic dry matter, ODM (\%)} = 0.90 \text{ DM (\%)} \quad (2)$$

2.3) คำนวณปริมาณ (น้ำหนักสด) ของพืชพลังงานที่ใช้ป้อนในถังหมัก 20 ลิตร

หลักการคือ ต้องป้อนพืชพลังงานในถังหมักด้วยปริมาณ Organic dry matter ที่เท่ากัน ซึ่งเท่ากับ 3 kg.ODM/m³ (Deutsche Gesellschaft, 2004) หมายถึง ในถังหมักขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องป้อนพืชพลังงานที่มี Organic dry matter ปริมาณ 3 กิโลกรัม ดังนั้น ถังหมักขนาด 20 ลิตร หรือ 0.020 ลูกบาศก์เมตร ต้องป้อนพืชพลังงานที่มี Organic dry matter ปริมาณ 0.060 กิโลกรัม

ปริมาณ (น้ำหนักสด) ของพืชพลังงานแต่ละชนิดที่ใช้ป้อนในถังหมัก 20 ลิตร
 $= 0.060/\text{ODM}$ ของพืช (3)

3. การทดลอง

การหาปริมาณก๊าซที่เกิดจากการหมักของพืชพลังงานทั้ง 6 ชนิด ทำโดยแบ่งสารละลายที่แบคทีเรียพร้อมทำงานแล้วในถัง 200 ลิตร ลงในถังหมักขนาด 20 ลิตร จำนวน 7 ถัง ๆ ละ 20 ลิตร ทำการทดลองแบบ Batch type โดยทำการทดลองกับพืชพลังงานครั้งละ 2 ชนิด ชนิดละ 3 ถัง และถังควบคุม 1 ถัง ป้อนพืชพลังงานลงในถังหมัก 3 ถัง ด้วยปริมาณ Dry matter ที่เท่ากัน คือ 3 kg.ODM/m³ (Deutsche Gesellschaft, 2004) ส่วนถังควบคุม (ถังที่ 7) ไม่มีการป้อนพืช แล้วแช่ถังหมักทั้ง 7 ลงในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 38 °C ด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อผลการทดลอง ต่อสายก๊าซจากถังหมักมายังเครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas flow meter) จะทำการวัดปริมาตรก๊าซทุกวันเป็นลิตรตลอดระยะเวลาการหมัก (Retention time) 30 วัน และจากเครื่องวัดปริมาณก๊าซมีสายก๊าซต่อมายังถุงเก็บก๊าซ (Air bag) เพื่อวัดคุณภาพก๊าซ คือ ปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) นอกจากนี้ยังทำการวัดอุณหภูมิของก๊าซที่เกิดขึ้นในถังหมักทุกวัน จนครบ 30 วัน ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงการทดลอง 1 batch การทดลอง กับพืชพลังงาน

ผลและวิจารณ์

1. Dry matter, Organic dry matter และน้ำหนักสดที่ใช้ป้อน

พืชทั้ง 6 ชนิด ที่นำมาหาไบโอแก๊สเลือกในช่วงอายุที่แก่เต็มที่หรือช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตเพราะเป็นช่วงอายุที่มี dry matter มากที่สุด (Amon et. al., 2006b) จากการทดลองพบว่า Dry matter (DM) ของข้าวโพดมีค่ามากที่สุด 21.64% และผักกาดขาวมีค่าน้อยที่สุด 4.17% ของพืชทั้ง 6 ชนิด ดังแสดงใน ตารางที่ 1 สาเหตุที่ข้าวโพดมี dry matter มากที่สุดเพราะมีน้ำอยู่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่เหลือ ส่วนผักกาดขาวประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่จึงมี dry matter น้อยที่สุด โดยที่ dry matter ของผักกาดขาวจะใกล้เคียงกับผักตบชวาซึ่งเป็นพืชน้ำ ในทำนองเดียวกันค่า Organic dry matter (ODM) ของข้าวโพดจะมากที่สุดคือ 19.48% เมื่อคำนวณน้ำหนักสดที่ใช้ในการทดลอง ค่าน้ำหนักสดแสดงใน ตารางที่ 1 โดยพืชที่มี ODM น้อยสุดต้องป้อนด้วยน้ำหนักสดที่มากที่สุด

ตารางที่ 1 Dry matter (DM), organic dry matter (ODM) and fresh biomass of crops

Crops	DM (%)	ODM (%)	Fresh biomass of crops (kg)
ข้าวโพด	21.64	19.48	0.30
อ้อย	17.30	15.57	0.38
มะละกอ	14.67	13.20	0.45
กล้วย	12.75	11.48	0.50
ผักตบชวา	7.43	6.69	1.20
ผักกาดขาว	4.17	3.97	1.50

2. ปริมาณไบโอแก๊สที่ผลิตได้ของพืช 6 ชนิด

ไบโอแก๊สที่ผลิตได้จากพืชทั้ง 6 ชนิด ในระยะเวลาการหมัก 30 วัน แสดงไว้ใน ตารางที่ 2 ซึ่งมีหน่วยเป็นลิตรต่อกิโลกรัมสารอินทรีย์ที่ป้อน (L/kg.ODM) หรือลูกบาศก์เมตรต่อตันของสารอินทรีย์ที่ป้อน (m³/Ton.ODM) แก๊สที่เกิดจากการทดลองมีอุณหภูมิ 38 °C ความดันเท่ากับหนึ่งความดันบรรยากาศหรือ 1 atm เพื่อปรับเป็นข้อมูลมาตรฐาน จึงแปลงค่าสู่สภาวะมาตรฐานของแก๊ส

(Standard conditions for Temperature and Pressure, STP; 273.15 K, 1 atm) หน่วยที่ใช้จึงเป็น $L_N/kg.ODM$ และ $m_N^3/Ton.ODM$ ตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้สมการ (4)

$$\text{Ideal gas law; } P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2 \quad (4)$$

ในระยะเวลา 30 วัน ที่สภาวะ 1 มะละกอผลิตไบโอแก๊สได้ 36.70 L (V_1) อุณหภูมิของไบโอแก๊ส 38 °C ($T_1 = 38+273.15$ K) มีความดัน 1 atm (P_1)
 ที่สภาวะ 2 หรือสภาวะมาตรฐาน ($T_2 = 273.15$ K, $P_2 = 1$ atm)
 มะละกอจะผลิตไบโอแก๊สได้, $V_2 = P_1V_1T_2/(P_2T_1) = (1 \text{ atm})(36.70 \text{ L})(273.15 \text{ K}) / \{(1 \text{ atm})(38+273.15 \text{ K})\}$
 $= 32.22 L_N$

และปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนในถังหมักมีปริมาณ 0.06 kg.ODM

ดังนั้น มะละกอผลิตไบโอแก๊สได้ = $32.22 L_N / 0.06 \text{ kg.ODM} = 537.02 L_N/kg.ODM$

ตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาณของไบโอแก๊สทั้งค่าแก๊สสะสม ค่าเฉลี่ยรายวันในช่วง 30 วัน และค่าสูงสุด จากค่าปริมาณแก๊สสะสมตลอดระยะเวลาการหมัก 30 วัน เรียงลำดับพืชที่ให้ปริมาณแก๊สมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือ มะละกอ กล้วย อ้อย ข้าวโพด ผักกาดขาวและผักตบชวา ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณแก๊สที่เกิดจากการหมักมะละกามีค่ามากที่สุดเฉลี่ยวันละ 17.90 $L_N/kg.ODM$ และผักตบชวามีค่าน้อยที่สุดเฉลี่ยวันละ 1.89 $L_N/kg.ODM$

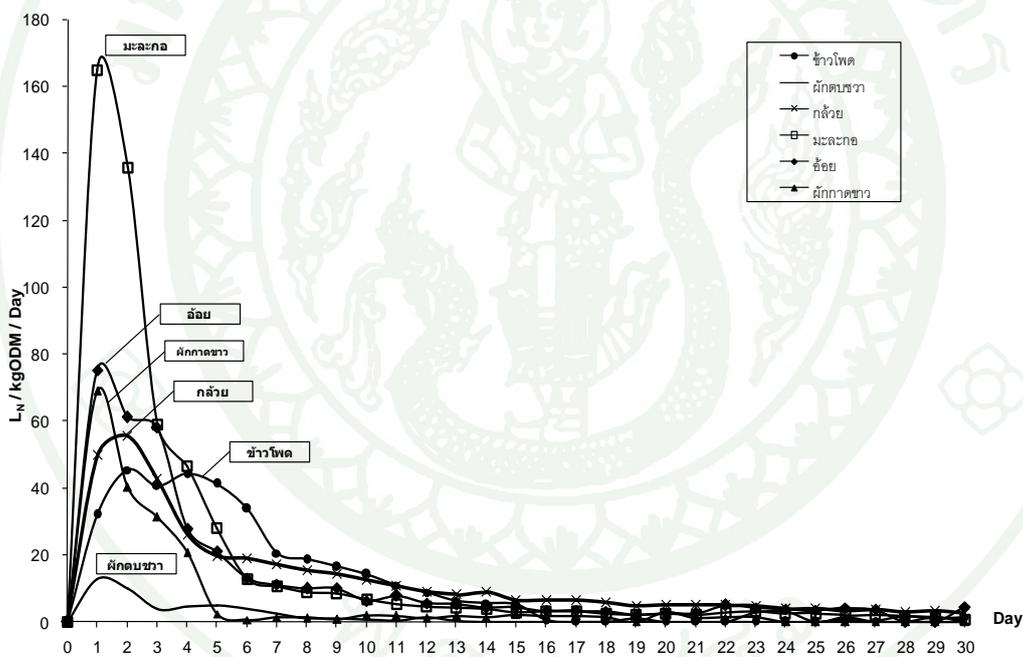
ตารางที่ 2 Biogas yield of crops

Crops	Biogas yield at STP		
	Accumulate ($L_N/kg.ODM /30day$) ^a	Average ($L_N/kg.ODM /day$)	Peak ($L_N/kg.ODM /day$)
มะละกอ	537.02	17.90	165.00 (at day 1)
กล้วย	385.10	12.84	55.83 (at day 2)
อ้อย	368.31	12.28	75.37 (at day 1)
ข้าวโพด	352.07	11.76	45.51 (at day 2)
ผักกาดขาว	190.54	6.35	69.05 (at day 1)
ผักตบชวา	56.62	1.89	12.90 (at day 1)

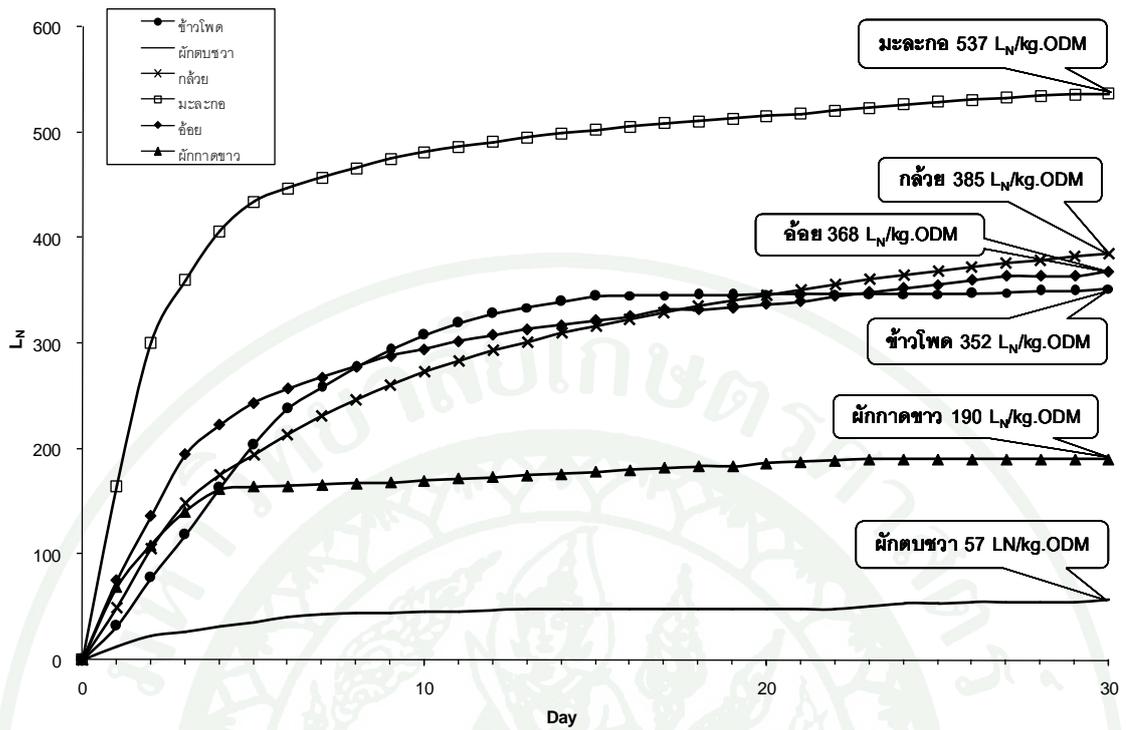
^a L_N = Norm Litre (273.15 K, 1 atm)

kg.ODM = kilogram of organic dry matter of crops

จากค่าสูงสุดของก๊าซที่เกิดขึ้นพบว่าลักษณะการเกิดก๊าซของพืชทั้ง 6 ชนิดมีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ จะเกิดก๊าซมากที่สุดในวันแรกหรือวันที่สองของการหมัก แล้วปริมาณก๊าซจะค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่สามถึงวันที่ห้า และหลังจากวันที่ห้าปริมาณก๊าซจะค่อยๆ ลดลงจนมีก๊าซน้อยมากในวันที่ 30 ดังแสดงโดยกราฟ ภาพที่ 12 และ ภาพที่ 13 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลที่ทดลองโดย Amon et. al. (2006a), Gunaseelan (2006) และ Lehtomaki (2006) แสดงว่าแบคทีเรียเริ่มการย่อยสลายทันทีหลังจากป้อนพืชลงในถังหมัก โดยมะละกอยังคงให้ปริมาณก๊าซมากที่สุดคือ 165 $L_N/kg.ODM/day$ ในวันแรกของการหมัก ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงมากเมื่อเทียบกับพืชที่เหลือ เมื่อพิจารณาจากตัวเลขของปริมาณก๊าซที่ขึ้นถึงจุดสูงสุดจะเรียงลำดับพืชจากมากไปน้อยได้แตกต่างจากที่เรียงด้วยค่าเฉลี่ย ดังนี้คือ มะละกอ อ้อย ผักกาดขาว กล้วย ข้าวโพดและผักตบชวา ซึ่งมีปริมาณก๊าซ 165.00, 75.37, 69.05, 55.83, 45.51 และ 12.90 $L_N/kg.ODM/day$ ตามลำดับ



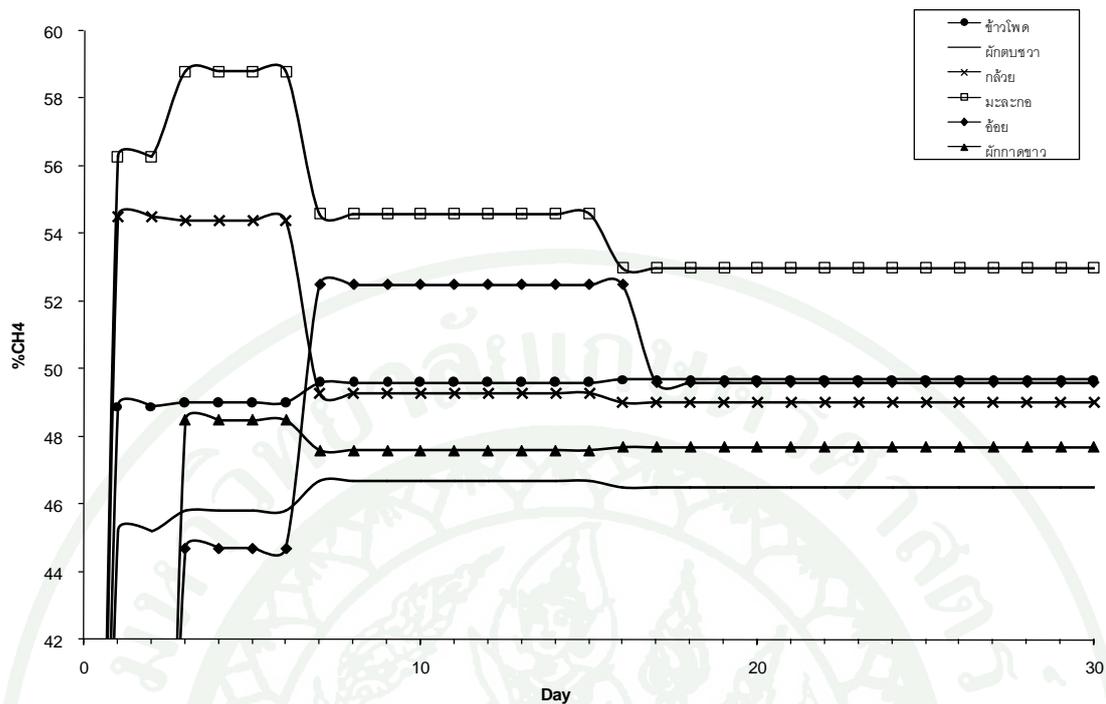
ภาพที่ 12 Biogas yield per kg.ODM per day of energy crops at STP



ภาพที่ 13 Accumulated biogas yield per kg.ODM of energy crops at STP

ตารางที่ 3 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH₄) ในไบโอแก๊สของพืชพลังงาน

พืชพลังงาน	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	
	สูงสุด (%)	เฉลี่ย (%)
ข้าวโพด	49.7	49.3
ผักตบชวา	46.7	46.1
กัญชง	54.5	51.8
มะละกอ	58.8	55.7
อ้อย	52.5	41.7
ผักกาดขาว	48.5	40.1



ภาพที่ 14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH₄) ในไบโอแก๊สของพืชพลังงาน

พืชที่มีศักยภาพต้องให้ปริมาณไบโอแก๊สที่มากและมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH₄) ที่สูงด้วย เมื่อพิจารณา ตารางที่ 3 มะละกอให้แก๊สที่มีเปอร์เซ็นต์มีเทนสูงถึง 58.8% ส่วนผักกาดขาวให้ค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนต่ำสุด 48.5% เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักพบว่า มะละกอให้ค่าสูงสุดคือ 55.7% รองลงมาคือ กลัวย ข้าวโพด ผักตบชวา อ้อยและผักกาดขาว ตามลำดับ และมีเพียงกลัวยและมะละกอเท่านั้นที่ให้ค่าเฉลี่ยมีเทนมากกว่า 50% จากการดูผลการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาพบว่าเปอร์เซ็นต์มีเทนมีค่าต่ำในช่วงแรก และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีค่าต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงวันท้ายๆ นั้นปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีค่าเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์มีเทนตามระยะเวลานี้แตกต่างกันไปดังแสดงใน ภาพที่ 14

ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไบโogasสะสมตลอดระยะเวลาการหมัก 30 วัน ของพืชพลังงานทั้ง 6 ชนิด

	biomass	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Turkey HSD ^a	2.00	3	56.62			
	6.00	3	190.54	190.54		
	5.00	3		352.07	352.07	
	3.00	3		368.31	368.31	368.31
	1.00	3			385.10	385.10
	4.00	3				537.02
	Sig.			.178	.51	.399
Duncan ^a	2.00	3	56.62			
	6.00	3		190.54		
	5.00	3			352.07	
	3.00	3			368.31	
	1.00	3			385.10	
	4.00	3				537.02
	Sig.			1.000	1.000	.082

^a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณไบโogasสะสมตลอดระยะเวลาการหมัก 30 วัน ของพืชพลังงานทั้ง 6 ชนิด ตามข้อมูลในตารางที่ 2 ด้วยโปรแกรม SPSS โดยเลือกใช้ 2 วิธีทางสถิติ คือ วิธี Duncan และวิธี Turkey ที่ระดับความเชื่อมั่น $P < 0.05$ ผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณไบโogasสะสมตลอดระยะเวลาการหมัก 30 วัน ของพืชพลังงานทั้ง 6 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างคู่ ด้วยวิธี Duncan นั่นคือ มะละกอได้ไบโogasมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวโพด ถั่ว อ้อย ที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ผักกาดขาว น้อยตามมา และ ผักตบชวา น้อยที่สุด ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Tukey จะได้ผลลัพธ์ก็ไม่ต่างกัน ดังรายละเอียดตามตารางที่ 4

จากผลการทดลองทั้งหมดพืชที่สามารถนำมาหมักเป็นไบโogasและใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับชุมชนได้โดยตรงน่าจะเป็น มะละกอและถั่ว เพราะมีค่ามีเทนสูงกว่า 50% ตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นข้อกำหนดการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ส่วนใหญ่ ข้าวโพดและอ้อย ที่บางช่วงเวลาที่มีค่ามีเทนต่ำกว่าหรือมีค่าใกล้เคียง 50% ถ้านำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของ

เครื่องยนต์อาจต้องมีการนำไปผ่านขบวนการทำความสะอาดก๊าซเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์มีเทน ซึ่งอาจต้อง
ใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำไปใช้เพื่อการหุงต้มนั้นสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้โดยตรง ส่วน
ผักกาดขาว และผักตบชวานั้นน่าจะเหมาะสำหรับนำไปหมักเป็นก๊าซเพื่อใช้ในการหุงต้มมากกว่าเพราะ
มีเปอร์เซ็นต์มีเทนค่อนข้างต่ำ อีกทั้งการที่มีปริมาณ dry matter น้อย นั้นอาจไม่คุ้มค่าในการที่จะนำไป
เป็นวัตถุดิบเพื่อหมักเป็นก๊าซในระบบการผลิตไฟฟ้าชุมชน



สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองมะละกอผลิตไบโอแก๊สมากที่สุดคือ 537.02 $L_N/kg.ODM/30day$ ส่วนผักตบชวาผลิตไบโอแก๊สได้น้อยที่สุดคือ 56.62 $L_N/kg.ODM/30day$ กล้วย อ้อย ข้าวโพด ผักกาดขาวผลิตไบโอแก๊สได้ 385.10, 368.31, 352.07 และ 190.54 $L_N/kg.ODM/30day$ ตามลำดับ

2. ปริมาณแก๊สสูงสุดพบในวันที่หนึ่ง หรือ สอง โดยมะละกอให้ค่าสูงสุดคือ 165.00 $L_N/kg.ODM/day$ รองลงมาคือ อ้อย 75.37 $L_N/kg.ODM/day$ ผักกาดขาว 69.05 $L_N/kg.ODM/day$ กล้วย 55.83 $L_N/kg.ODM/day$ ข้าวโพด 45.51 $L_N/kg.ODM/day$ และผักตบชวา 12.90 $L_N/kg.ODM/day$ ตามลำดับ

3. มีเทนสูงสุด คือ 55.7% จากมะละกอ

4. จากผลการทดลองสามารถจัดพืชเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับชุมชนได้ 3 กลุ่มคือ มะละกอและกล้วย ใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง ข้าวโพดและอ้อย ใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถ้าผ่านกระบวนการทำความสะอาดแก๊ส ผักกาดขาวและผักตบชวาเหมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกศักดิ์ เอี่ยมโสภาส. 2551. บทบรรณาธิการ. **ระบบผลิตพลังงานทดแทนและการจัดการ
สิ่งแวดล้อม5(1).**

วิกิ วิทยาศาสตร์ (Thai Sciencepedia). สารานุกรมวิทยาศาสตร์ เพื่อประชาชน, คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล. 2552. **ผักกาดขาว** แหล่งที่มา: [http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/
doku.php?id=ผักกาดขาว](http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php?id=ผักกาดขาว), 15 มกราคม 2557.

Amon, T., B. Amon, V. Kryvoruchko, A. Machmuller, W. Zollitsch, K. Mayer, and
L. Gruber, 2006a. **Biogas production from maize and dairy cattle manure –
influence of biomass composition on the methane yield.** Agriculture &
Ecosystems & Environment, 173-182.

Amon, T., B. Amon, V. Kryvoruchko, A. Machmuller, K. Hopfner-Sixt, V. Bodiroza,
R. Hrbek, J. Friedel, E. Potsch, H. Wagenristl, M. Schreiner, and W. Zollitsch,
2006b. **Methane production through Anaerobic digestion of various energy
crops grown in sustainable crop rotations.** Bioresource Technology.

Danner W., 2008. **Training programme – Energy from Biomass.** Rottaler Modell.
Renewable Energy Center, Mithradham, India

Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie Staff(CB). 2004. **Planing and installing
bioenergy systems : A guide for installers, architects and engineers.**
Toronto, ON, CAN: Earthscan Canada, 53-100.

Gunaseelan, V.N., 2006. **Regression models of ultimate methane yields of fruits and
vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition.**
Bioresource Technology, 1270-1276.

Lehtomaki, A., 2006. **Biogas production from energy crops and crop residues.**

Publishing Unit, University Library of Jyvaskyla. University of Jyvaskyla.

The Wikimedia Foundation, Inc. 2557. **กล้วย**

แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/กล้วย>, 18 มกราคม 2557.

The Wikimedia Foundation, Inc. 2557. **ข้าวโพด**

แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ข้าวโพด>, 11 มกราคม 2557.

The Wikimedia Foundation, Inc. 2556. **ผักตบชวา**

แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ผักตบชวา>, 12 มกราคม 2557.

The Wikimedia Foundation, Inc. 2557. **มะละกอ**

แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/มะละกอ>, 18 มกราคม 2557.

The Wikimedia Foundation, Inc. 2556. **อ้อย**

แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/อ้อย>, 14 มกราคม 2557.

Veget web. ฐานข้อมูลพืชผัก บทความเกษตร. **ผักกาดขาว (Chinese Cabbage)**

แหล่งที่มา: <http://www.vegetweb.com/ผักกาดขาว-chinese-cabbage>, 15 มกราคม 2557.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักข้าวโพดและผักตบชวา เป็นเวลา 30 วัน
(ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)						ถังอ้างอิง
	ข้าวโพด			ผักตบชวา			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	
1	7.73	6.83	7.96	6.12	5.96	6.38	5.31
2	8.72	8.05	8.46	5.46	6.37	6.21	5.30
3	8.31	8.23	7.40	5.29	5.60	4.81	5.21
4	8.44	8.10	8.13	5.63	5.74	4.82	5.13
5	7.47	7.16	6.87	5.29	4.91	3.94	4.36
6	7.03	5.78	5.87	4.66	4.54	3.43	3.93
7	5.79	4.97	4.53	4.21	3.98	3.27	3.67
8	4.44	3.59	3.51	2.97	2.87	2.12	2.56
9	4.28	3.66	3.64	2.86	2.99	2.38	2.67
10	3.84	3.23	3.25	2.77	2.77	2.23	2.57
11	3.43	2.87	2.88	2.63	2.53	1.85	2.29
12	3.15	2.76	2.69	2.63	2.49	1.91	2.25
13	2.79	2.59	2.49	2.43	2.27	1.66	2.12
14	2.60	2.39	2.33	2.21	2.05	1.37	1.94
15	2.47	2.37	2.18	2.19	2.02	1.32	1.95
16	1.34	1.32	1.27	1.07	1.06	0.28	0.95
17	1.09	2.33	1.47	2.16	2.02	1.00	2.04
18	1.94	2.23	3.04	1.73	1.68	1.28	1.76
19	1.46	1.78	1.65	1.40	1.39	1.19	1.51
20	1.68	1.93	1.57	1.40	1.70	0.95	1.75
21	1.70	2.46	2.11	1.70	2.33	0.00	2.17
22	1.56	1.77	1.58	1.39	1.74	0.00	1.68
23	1.55	1.77	1.62	1.82	1.73	0.00	1.65
24	1.58	2.76	2.43	3.08	2.94	0.00	2.58
25	2.13	2.79	2.21	1.80	1.69	0.00	1.77
26	1.63	1.95	1.67	1.39	1.16	0.00	1.23
27	1.36	1.51	1.25	1.15	0.74	0.00	1.06
28	0.94	0.80	0.98	0.79	0.45	0.00	0.65
29	0.56	0.15	0.83	0.46	0.27	0.00	0.30
30	0.18	0.10	0.82	0.13	0.22	0.00	0.20

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักกล้วยและมะละกอ เป็นเวลา 30 วัน
(ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)						ถังอ้างอิง
	กล้วย			มะละกอ			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	
1	4.67	4.29	3.48	12.08	11.84	12.11	0.73
2	4.43	4.72	3.76	10.01	8.72	10.55	0.49
3	2.98	4.15	3.42	4.78	4.13	4.91	0.58
4	1.98	2.43	2.27	2.26	2.02	2.63	0.43
5	1.68	2.03	1.88	3.01	2.27	3.10	0.52
6	2.08	1.80	1.51	1.62	0.99	1.50	0.50
7	1.80	1.57	1.34	1.36	0.80	1.19	0.40
8	1.65	1.49	1.36	1.22	0.77	1.15	0.44
9	1.63	1.42	1.30	1.30	0.72	1.14	0.47
10	1.24	1.30	1.18	1.03	0.61	0.89	0.38
11	1.20	1.30	1.08	1.04	0.59	0.82	0.46
12	1.02	1.13	0.95	0.91	0.49	0.73	0.41
13	1.10	1.09	0.97	0.99	0.52	0.83	0.49
14	1.18	1.22	1.10	1.06	0.55	0.86	0.56
15	0.78	0.99	0.92	0.83	0.47	0.66	0.46
16	0.83	1.03	0.92	0.85	0.52	0.72	0.47
17	0.81	1.01	0.88	0.83	0.50	0.66	0.45
18	0.88	0.98	0.84	0.74	0.52	0.68	0.49
19	0.73	0.89	0.74	0.70	0.49	0.61	0.46
20	0.77	0.89	0.69	0.71	0.48	0.60	0.43
21	0.82	0.87	0.70	0.69	0.48	0.59	0.43
22	0.93	0.88	0.70	0.79	0.55	0.69	0.49
23	0.86	0.80	0.64	0.74	0.52	0.68	0.43
24	0.69	0.72	0.54	0.62	0.50	0.55	0.38
25	0.69	0.72	0.54	0.62	0.50	0.55	0.38
26	0.70	0.77	0.56	0.73	0.48	0.55	0.45
27	0.66	0.71	0.55	0.62	0.46	0.51	0.39
28	0.74	0.76	0.43	0.64	0.53	0.50	0.44
29	0.73	0.72	0.60	0.62	0.52	0.50	0.44
30	0.68	0.70	0.53	0.59	0.45	0.49	0.46

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักอ้อยและผักกาดขาว เป็นเวลา 30 วัน
(ยังไม่ได้ลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)						ถังอ้างอิง
	อ้อย			ผักกาดขาว			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	
1	5.58	5.53	5.32	4.67	3.19	1.58	0.32
2	4.49	4.68	4.46	5.14	4.58	3.83	0.36
3	4.72	4.92	4.33	2.19	2.54	3.03	0.41
4	2.01	2.38	2.29	1.50	2.04	4.49	0.31
5	1.76	1.87	1.90	1.18	1.42	2.49	0.40
6	1.23	1.33	1.39	0.74	0.95	0.68	0.43
7	0.96	1.22	1.22	0.85	0.84	0.60	0.37
8	0.96	1.11	1.10	0.78	0.85	0.57	0.37
9	1.09	1.05	1.10	0.57	0.63	0.60	0.39
10	0.73	0.70	0.81	0.55	0.62	0.51	0.31
11	0.76	0.81	0.95	0.71	0.71	0.61	0.43
12	0.62	0.69	0.87	0.56	0.59	0.54	0.34
13	0.55	0.63	0.76	0.48	0.50	0.45	0.28
14	0.52	0.65	0.68	0.57	0.52	0.47	0.32
15	0.50	0.67	0.64	0.70	0.65	0.67	0.47
16	0.45	0.57	0.54	0.58	0.57	0.51	0.38
17	0.47	0.54	0.52	0.58	0.55	0.52	0.40
18	0.47	0.56	0.51	0.55	0.49	0.53	0.39
19	0.40	0.46	0.35	0.54	0.50	0.48	0.37
20	0.32	0.56	0.20	0.33	0.30	0.26	0.18
21	0.40	0.48	0.44	0.40	0.35	0.36	0.27
22	0.64	0.60	0.56	0.61	0.61	0.56	0.52
23	0.50	0.55	0.52	0.61	0.56	0.57	0.51
24	0.55	0.50	0.48	0.51	0.52	0.48	0.43
25	0.47	0.41	0.41	0.48	0.43	0.43	0.39
26	0.53	0.46	0.47	0.49	0.47	0.51	0.44
27	0.46	0.43	0.44	0.49	0.46	0.47	0.43
28	0.44	0.41	0.40	0.51	0.51	0.51	0.46
29	0.44	0.41	0.40	0.50	0.49	0.49	0.46
30	0.51	0.47	0.43	0.40	0.40	0.41	0.38

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักข้าวโพดและผักตบชวา เป็นเวลา 30 วัน
(หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)					
	ข้าวโพด			ผักตบชวา		
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3
1	2.42	1.52	2.66	0.81	0.65	1.07
2	3.42	2.75	3.15	0.16	1.07	0.91
3	3.11	3.02	2.19	0.09	0.40	0.39
4	3.32	2.97	3.00	0.50	0.61	0.31
5	3.11	2.80	2.51	0.94	0.55	0.41
6	3.11	1.86	1.94	0.73	0.62	0.50
7	2.12	1.30	0.86	0.54	0.31	0.40
8	1.89	1.04	0.95	0.41	0.32	0.44
9	1.61	0.99	0.97	0.19	0.32	0.29
10	1.27	0.67	0.68	0.20	0.20	0.34
11	1.14	0.58	0.59	0.34	0.24	0.44
12	0.90	0.51	0.44	0.38	0.24	0.34
13	0.67	0.47	0.37	0.31	0.15	0.46
14	0.67	0.45	0.39	0.28	0.11	0.57
15	0.52	0.42	0.23	0.24	0.07	0.63
16	0.40	0.38	0.32	0.12	0.11	0.67
17	0.95	0.29	0.57	0.11	0.02	0.55
18	0.18	0.47	1.28	0.03	0.08	0.48
19	0.05	0.27	0.14	0.10	0.12	0.32
20	0.07	0.18	0.18	0.34	0.04	0.28
21	0.47	0.29	0.06	0.48	0.16	0.22
22	0.12	0.09	0.10	0.29	0.05	0.15
23	0.10	0.12	0.03	0.17	0.08	0.11
24	0.99	0.18	0.15	0.50	0.37	0.42
25	0.36	1.03	0.44	0.04	0.08	0.30
26	0.40	0.72	0.44	0.16	0.07	0.23
27	0.30	0.44	0.19	0.08	0.32	0.20
28	0.29	0.15	0.33	0.14	0.20	0.18
29	0.26	0.14	0.53	0.16	0.02	0.05
30	0.02	0.10	0.62	0.07	0.02	0.02

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักกล้วยและมะละกอ เป็นเวลา 30 วัน
(หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	กล้วย			มะละกอ		
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3
1	3.94	3.56	2.75	11.34	11.11	11.38
2	3.94	4.23	3.28	9.53	8.24	10.07
3	2.41	3.57	2.84	4.21	3.56	4.34
4	1.55	2.00	1.84	1.82	1.59	2.20
5	1.16	1.52	1.36	2.49	1.76	2.59
6	1.58	1.30	1.01	1.12	0.49	1.00
7	1.40	1.17	0.94	0.97	0.41	0.79
8	1.21	1.05	0.92	0.78	0.33	0.71
9	1.16	0.95	0.83	0.82	0.25	0.67
10	0.85	0.91	0.79	0.65	0.22	0.51
11	0.74	0.84	0.62	0.59	0.13	0.37
12	0.61	0.73	0.54	0.50	0.08	0.32
13	0.61	0.60	0.47	0.50	0.03	0.34
14	0.62	0.66	0.55	0.50	0.01	0.30
15	0.32	0.53	0.46	0.38	0.02	0.20
16	0.35	0.55	0.44	0.37	0.04	0.25
17	0.36	0.56	0.43	0.38	0.05	0.21
18	0.39	0.49	0.35	0.26	0.03	0.20
19	0.28	0.44	0.29	0.24	0.04	0.15
20	0.34	0.47	0.26	0.29	0.05	0.17
21	0.38	0.44	0.26	0.26	0.05	0.16
22	0.44	0.38	0.20	0.30	0.06	0.20
23	0.43	0.37	0.21	0.31	0.08	0.25
24	0.31	0.34	0.16	0.24	0.12	0.17
25	0.31	0.34	0.16	0.24	0.12	0.17
26	0.25	0.32	0.11	0.28	0.03	0.10
27	0.27	0.32	0.16	0.23	0.07	0.12
28	0.30	0.32	0.01	0.20	0.10	0.06
29	0.28	0.28	0.16	0.18	0.07	0.06
30	0.23	0.24	0.08	0.14	0.01	0.04

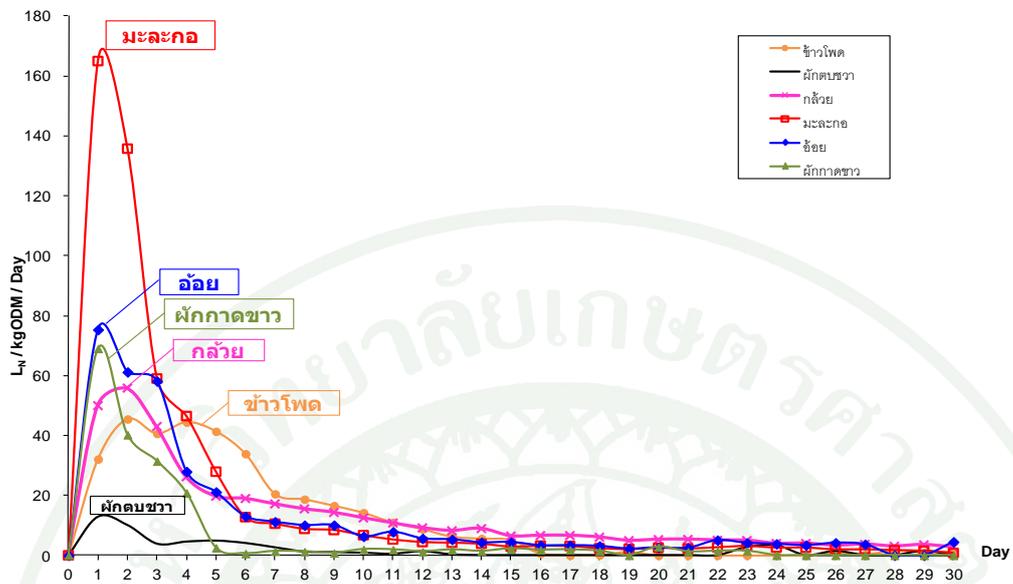
ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน) จากการหมักอ้อยและผักกาดขาว เป็นเวลา 30 วัน
(หลังจากลบปริมาณก๊าซจากถังอ้างอิง)

วัน	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)					
	อ้อย			ผักกาดขาว		
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3
1	5.25	5.21	4.99	4.35	2.87	1.26
2	4.13	4.32	4.10	4.78	4.22	3.47
3	4.30	4.51	3.91	1.78	2.13	2.62
4	1.69	2.06	1.98	1.19	1.73	4.18
5	1.36	1.48	1.50	0.78	1.02	2.09
6	0.80	0.91	0.96	0.31	0.52	0.25
7	0.60	0.85	0.85	0.48	0.47	0.23
8	0.59	0.74	0.73	0.41	0.48	0.20
9	0.70	0.66	0.71	0.18	0.24	0.21
10	0.42	0.38	0.50	0.24	0.31	0.20
11	0.33	0.38	0.52	0.28	0.28	0.18
12	0.28	0.35	0.53	0.22	0.25	0.20
13	0.26	0.35	0.48	0.20	0.22	0.17
14	0.20	0.33	0.36	0.25	0.20	0.15
15	0.03	0.20	0.17	0.23	0.18	0.20
16	0.07	0.19	0.16	0.20	0.19	0.13
17	0.07	0.14	0.11	0.18	0.15	0.12
18	0.08	0.17	0.12	0.16	0.10	0.14
19	0.04	0.10	0.02	0.17	0.13	0.11
20	0.14	0.38	0.02	0.15	0.12	0.08
21	0.13	0.21	0.17	0.13	0.08	0.09
22	0.12	0.08	0.04	0.09	0.09	0.04
23	0.01	0.04	0.01	0.10	0.05	0.06
24	0.12	0.07	0.05	0.08	0.09	0.05
25	0.08	0.02	0.02	0.09	0.04	0.04
26	0.09	0.02	0.03	0.05	0.03	0.07
27	0.02	0.00	0.01	0.06	0.03	0.04
28	0.03	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
29	0.03	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03
30	0.13	0.09	0.04	0.02	0.02	0.03

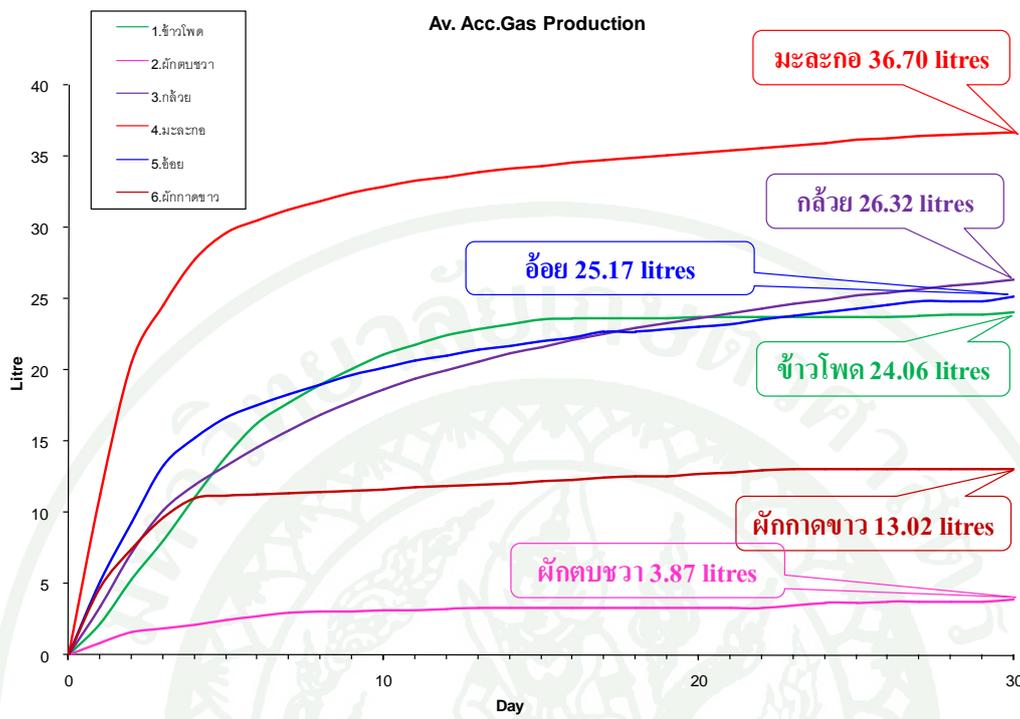


ภาคผนวก ข
กราฟข้อมูลการทดสอบ

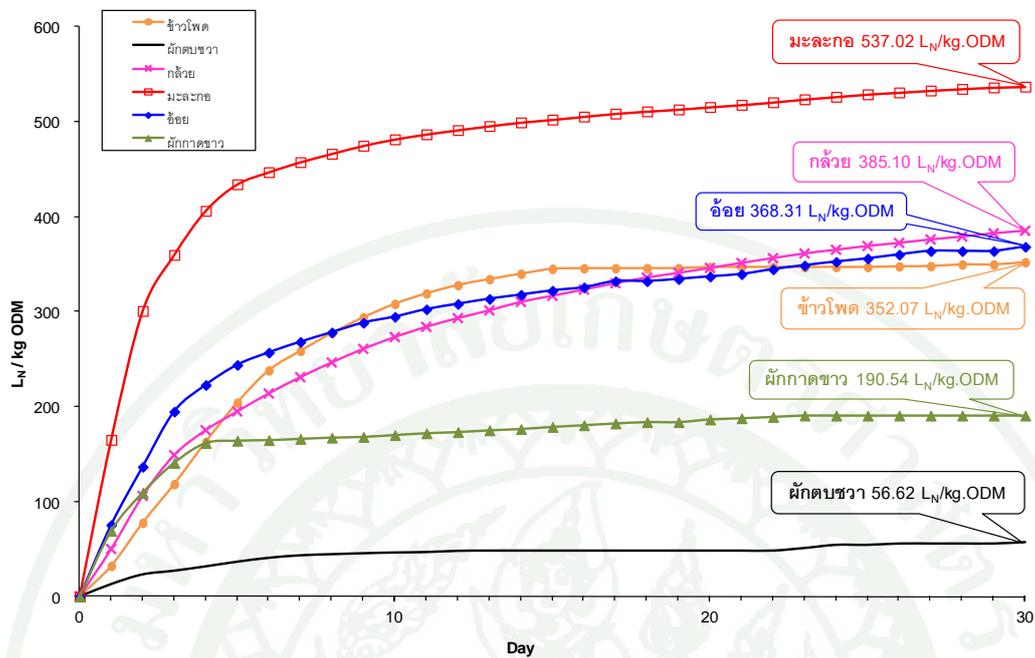
Average Gas Production



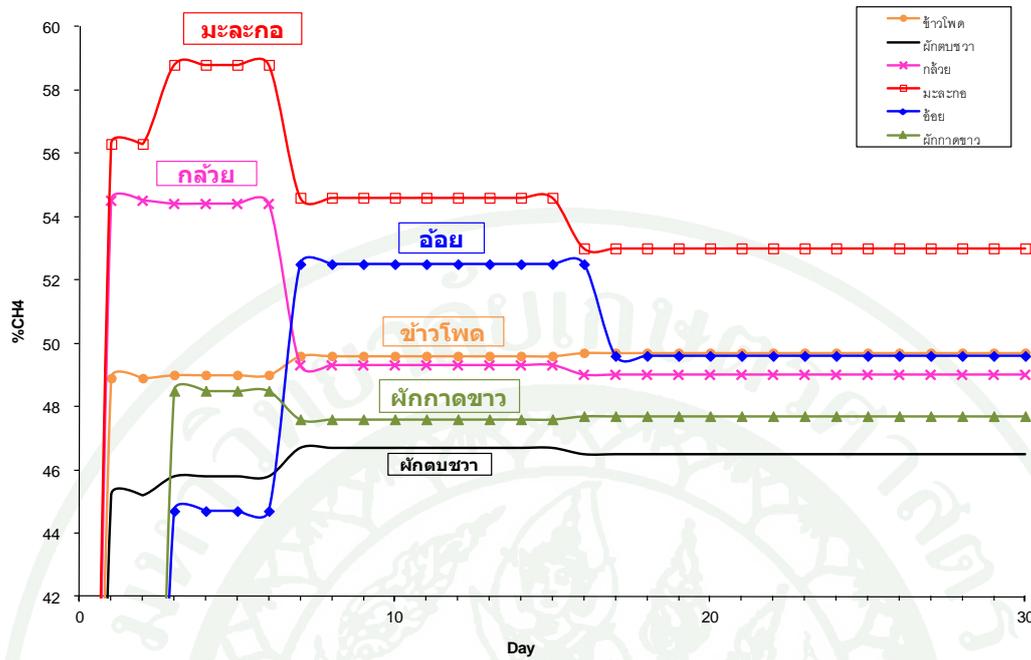
ภาพผนวกที่ ข1 ปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน STP (ลิตร/กิโลกรัมสารอินทรีย์/วัน) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน



ภาพผนวกที่ ข2 ปริมาณก๊าซเฉลี่ยสะสม (ลิตร) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน



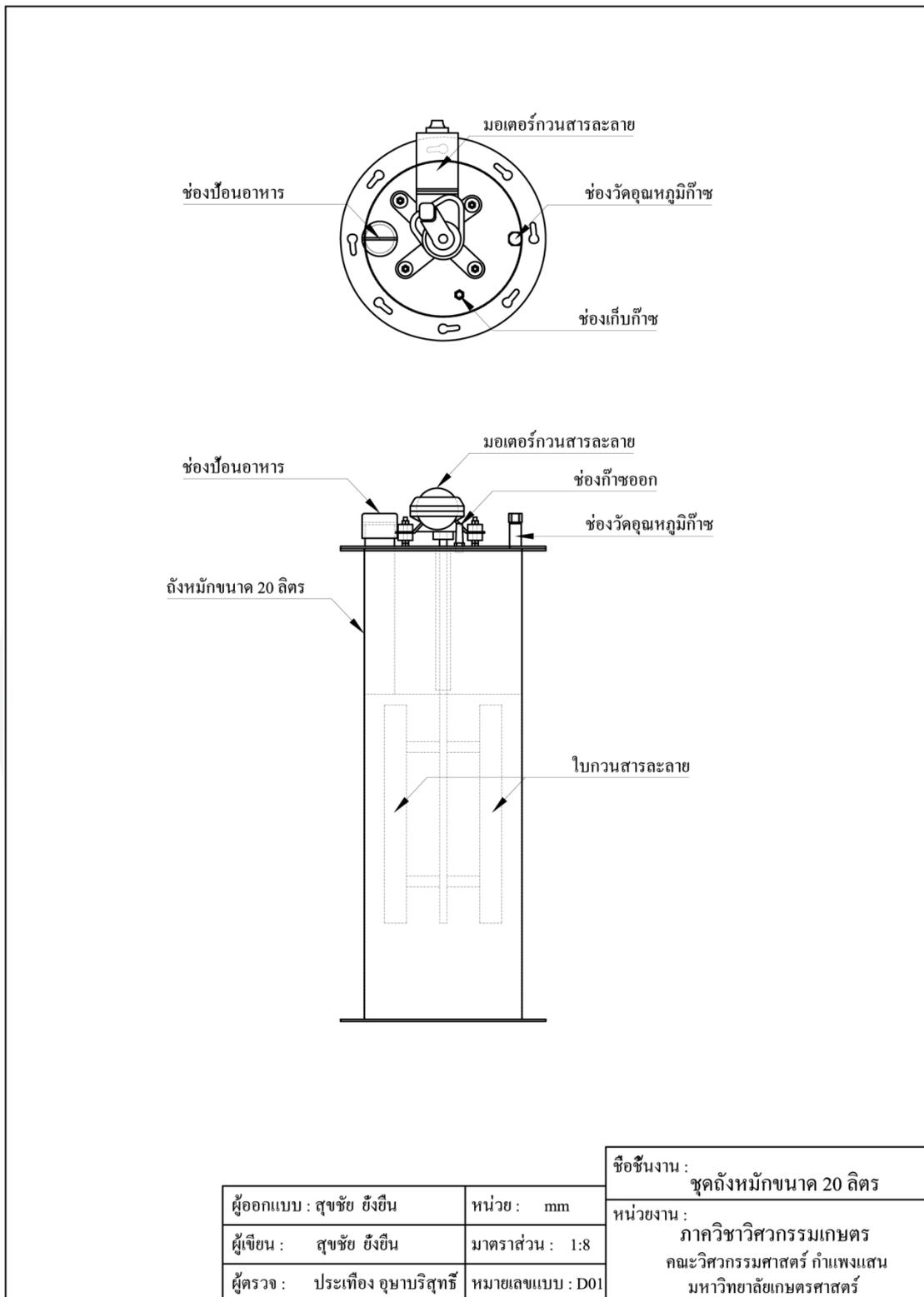
ภาพผนวกที่ ข3 ปริมาณก๊าซเฉลี่ยสะสมที่สภาวะมาตรฐาน STP (ลิตร/กิโลกรัมสารอินทรีย์) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน



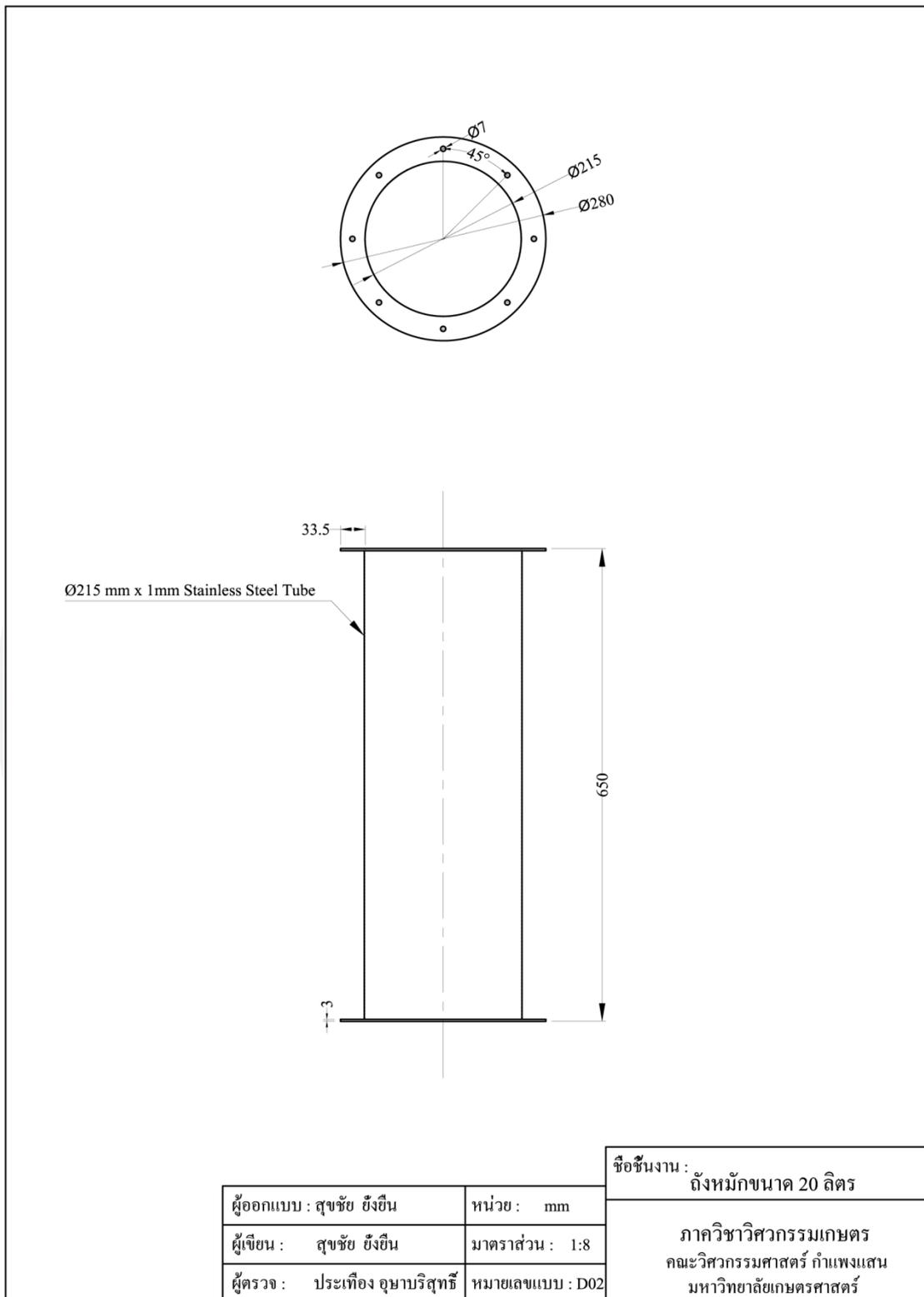
ภาพผนวกที่ ข4 ปริมาณก๊าซองค์ประกอบมีเทน (CH_4) (ลิตร) ของพืชแต่ละชนิดจากการหมักเป็นเวลา 30 วัน



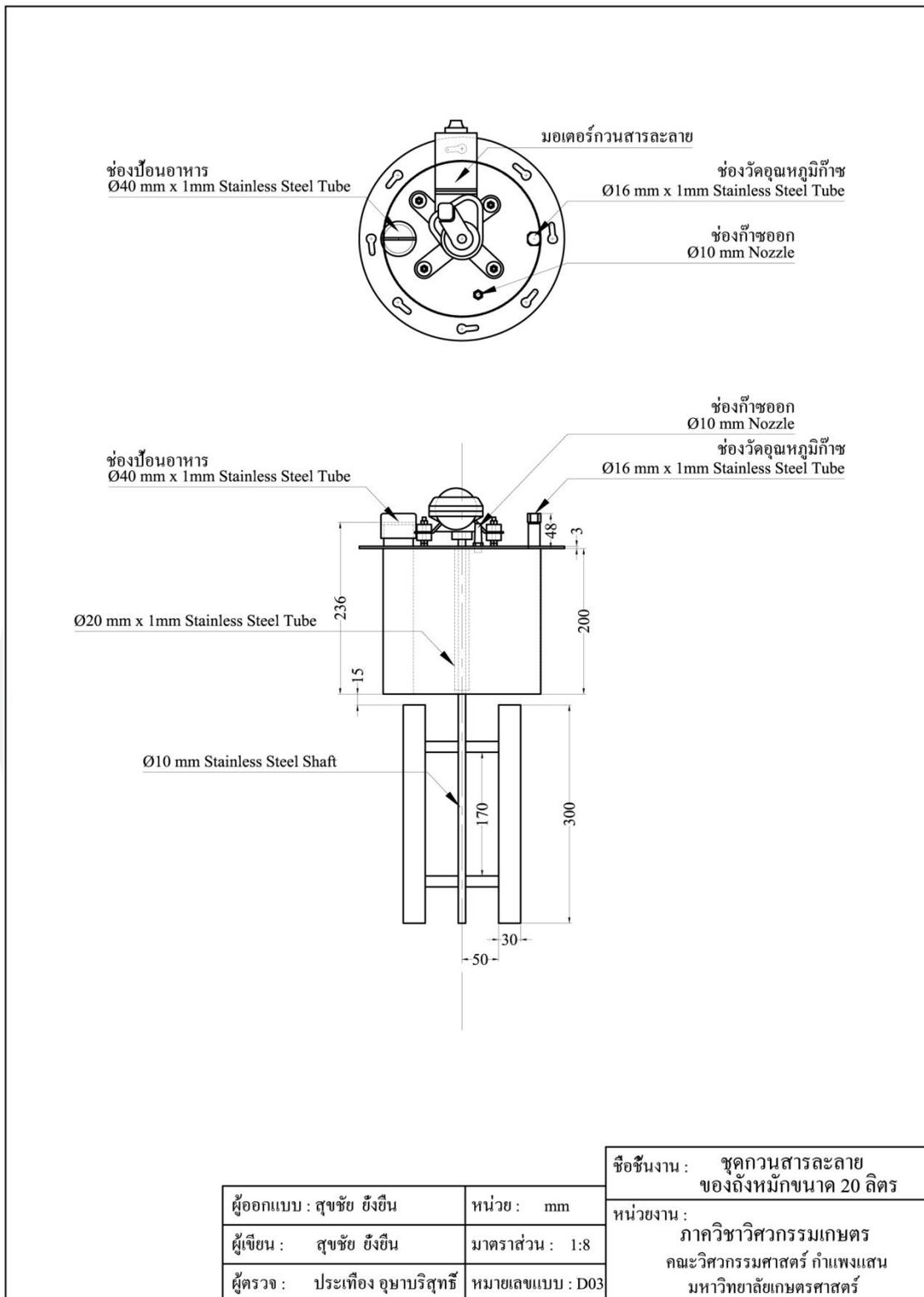
ภาคผนวก ค
แบบถังหมัก 20 ลิตร



ภาพผนวกที่ ค1 แบบชุดถังหมักขนาด 20 ลิตร



ภาพผนวกที่ ค2 แบบแสดงรายละเอียดของถังหมักขนาด 20 ลิตร



ภาพผนวกที่ ค3 แบบแสดงรายละเอียดของชุดกวนสารละลายของถังหมักขนาด 20 ลิตร

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายสุขชัย ยั่งยืน
วัน เดือน ปี เกิด	วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2518
สถานที่เกิด	อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตปริญญาโท
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน