



ผลของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ต่อการย่อยได้ และ
สมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่น



สุขสันต์ ไชยวงศ์

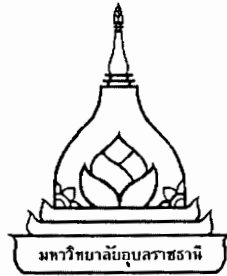
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



EFFECT OF CASSAVA PULP FERMENTED BY *RHIZOPUS* SP. FUNGI
ON DIGESTIBILITY AND GROWTH PERFORMANCE IN GROWING PIGS

SOUKSANH XAYYAVONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTAIL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN AGRICULTURE
FACULTY OF AGRICULTURE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง ผลของกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ต่อการย่อยได้และสมรรถนะการผลิต
ของสุกรรุ่น

ผู้วิจัย นายสุขสันต์ ไชยวงศ์

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกุล	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี ชูประภาวรรณ	กรรมการ
ดร.นนทกรณ์ อรุโสมถน	กรรมการ
ดร.เรืองยศ พิลาจันท์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานัส ลอศิริกุล	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี ชูประภาวรรณ)

(รองศาสตราจารย์ธีระพล บันสิทธิ์)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ สละเวลาอันมีค่าตรวจสอบเนื้อหา วิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี ชูประภาวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ช่วยชี้แนะในการศึกษาหาเชื้อราที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความรู้และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ รัฐบาลแห่งราชอาณาจักรไทย โดยกรมความร่วมมือระหว่างประเทศ กระทรวงการต่างประเทศ ที่ได้สนับสนุนทุนในการศึกษา ขอขอบพระคุณ คุณแสงจันทร์ พรหมณี ที่อำนวยความสะดวกในการทดลองในครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคน และครอบครัวที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้อย่างเต็มที่ ข้าพเจ้าขอมอบความสำเร็จนี้ให้แก่ทุกกำลังใจ ขอให้ทุกคนจะมีแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

สุขสันต์ ไชยวงศ์
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง	: ผลของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ต่อการย่อยได้ และสมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่น
ผู้วิจัย	: สุขสันต์ ไชยวงศ์
ชื่อปริญญา	: วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	: เกษตรศาสตร์
อาจารย์ปรึกษาหลัก	: รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกุล
อาจารย์ปรึกษาร่วม	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี ชูประภาวรรณ
คำสำคัญ	: กากแป้งมันสำปะหลัง, <i>Rhizopus</i> sp., การย่อยได้, สุกรรุ่น, สมรรถนะการผลิต

วัตถุประสงค์ในการศึกษาในครั้งนี้เพื่อทราบผลการใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ต่อการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถนะการผลิตในสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่สปป.ลาว โดยเชื้อรา *Rhizopus* spp. ที่ใช้ในการศึกษาได้จากการคัดแยกจากตัวอย่างดิน ลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว และลูกแป้งสุราพื้นเมืองเวียดนาม ใช้วิธีแยกเชื้อโดย dilution plating technique บนอาหาร PDA (Potato Dextrose Agar) ได้เชื้อรา *Rhizopus* spp. บริสุทธิ์จำนวน 15 ไอโซเลท เมื่อนำไปทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสด้วยอาหาร Carboxymethyl Cellulose (CMC) พบว่า เชื้อรา *Rhizopus* spp. มีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส (Hydrolysis Capacity value, HC value) จำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท RHV01 (ที่แยกได้จากลูกแป้งเหล้าจากเวียดนาม) RHB02 (แยกได้จากดินจากอำเภอบาเจียง) และ RHS03 (แยกได้จากลูกแป้งสาโทของสปป.ลาว) มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 1.07 1.06 และ 1.19 ตามลำดับ โดยเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะการเจริญเติบโต สามารถจำแนกได้เป็นเชื้อรา *Rhizopus oryzae* เมื่อนำเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 หมักร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) เป็นเวลา 5 วัน พบว่า กากแป้งมันสำปะหลังหมักมีโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.52 เป็นร้อยละ 7.34 ส่วนเยื่อใยลดลงจากร้อยละ 15.56 เหลือ 11.09 และพลังงานทั้งหมดลดลงจาก 3,895 เหลือ 3,656 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อนำกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 ไปผสมในอาหารสุกรรุ่นสูตรมันสำปะหลังในอัตรากากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ปรับสูตรอาหารให้มีโปรตีนร้อยละ 17 และพลังงาน 3,300 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม นำไปทดสอบการย่อยได้ของโภชนะ ในสุกรลูกผสมสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) เพศผู้ตอน น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 20 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว วางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Latin square design พบว่า อาหารทดลองทุกสูตรมีค่าการย่อยได้ของโภชนะ ได้แก่ สิ่งแห้ง โปรตีน เยื่อใย พลังงาน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อนำอาหารทดลองไปทดสอบสมรรถนะการผลิตในสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย

(เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนักตัวเริ่มต้น 19.77 ± 0.28 กิโลกรัม จำนวน 40 ตัว (เพศผู้ 20 และเพศเมีย 20 ตัว) วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่ผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 ในอัตราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 และสิ้นสุดการทดลองเมื่อสุกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 50 กิโลกรัม พบว่า สุกรมีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการกินได้ และอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็น น้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักสุกรมีชีวิตลดลง โดยต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 50.28, 43.36, 40.25 และ 38.04 บาทต่อกิโลกรัมสุกรมีชีวิต ตามลำดับ ดังนั้น กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 สามารถใช้ผสมอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ได้ สูงสุดถึงร้อยละ 40 โดยไม่ส่งผลต่ออัตราการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถนะการผลิต อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ABSTRACT

TITLE : EFFECT OF CASSAVA PULP FERMENTED BY *RHIZOPUS* SP. FUNGI ON
 DIGESTIBILITY AND GROWTH PERFORMANCE IN GROWING PIGS
 AUTHOR : SOUKSANH XAYYAVONG
 DEGREE : MASTER OF SCIENCE
 MAJOR : AGRICULTURE
 ADVISOR : ASSOC. PROF WATCHARAPONG WATTANAKUL, Ph.D.
 CO-ADVISOR : ASST. PROF YUWADEE CHUPRAPHAWAN, Ph.D.
 KEYWORDS : CASSAVA PULP, *RHIZOPUS* SP., GROWING PIGS, DIGESTIBILITY,
 GROWTH PERFORMANCE

The objectives of this study were to determine the nutrient digestibility and growth performance of Meishan crossbred growing pigs in Lao People's Democratic Republic. The *Rhizopus* spp. strain for this study was isolated from soil, luk peang (a small ball of starch yeast and mold) for making Vietnamese rice wine, and lao rice wine (sato). The dilution plating technique was used for isolating the *Rhizopus* spp. strain. The isolation results found fifteen isolates of the *Rhizopus* spp. strain and three strains, RHV01, RHB02, and RHS03 isolates, had cellulase activity. The *Rhizopus* sp. RHS03 isolate had the highest ($P < 0.01$) cellulase activity compared to the others. The physiologic characteristic of *Rhizopus* sp. RHS03 isolate was identified as *Rhizopus oryzae*. Cassava pulp was then fermented with *Rhizopus oryzae* RHS03 isolate (CPFR) using a solid state fermentation technique for five days. The percentage of protein in CPFR increased from 1.52 to 7.34 percent, fiber decreased from 15.56 to 11.09 percent, and gross energy reduced from 3,895 to 3,656 kcal/kg. CPFR was mixed to the cassava feed diet at the level of 0, 20, 30, and 40 percent and used in the raising of crossbred commercial pigs (Peitain x Landrace x Meishan). Four castrated crossbred pigs were allocated into a 4 x 4 Latin Square Design for a nutrient digestibility study. It was found that digestibility of dry matter, protein, fiber, and digestible and metabolizable energy did not significantly ($P > 0.05$) differ among the treatments. Forty crossbred growing pigs (20 males and 20 females) were arranged into a Randomized Complete Block Design (RCBD) for a growth performance study. At the final weight (average of 50 kgs body weight), growth rate, feed intake, and feed conversion rate did not significantly ($P > 0.05$) differ among the treatments. Feed costs were 50.28, 43.36, 40.25, and 38.04 (baht/kg live pig weight) respectively. Therefore,

the CPFR could be added to the diet up to 40% for crossbred growing pigs (Peitrain x Landrace x Meishan) without any effect on the digestibility and growth performance, and also could reduce the feed cost.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มันสำปะหลัง	4
2.2 กากแป้งมันสำปะหลัง	15
2.3 เยื่อใยในกากแป้งมันสำปะหลัง	19
2.4 การใช้กากแป้งมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร	20
2.5 เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	22
2.6 การหมักแบบอาหารแข็ง	27
2.7 การเพิ่มโภชนะของมันสำปะหลังและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการหมักแบบอาหารแข็ง	28
2.8 การใช้มันสำปะหลังและกากแป้งมันสำปะหลังหมักจุลินทรีย์เป็นอาหารสุกร	32
2.9 การใช้วัสดุเหลือทิ้งหมักด้วยเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดียว	34
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 การการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	36
3.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	38
3.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร	39
3.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหาร	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	43
4.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03	49
4.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร	51
4.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหารสุกรรุ่น	53
บทที่ 5 อภิปรายผล	
5.1 การเฝ้าศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา <i>Rhizopus</i> spp.	56
5.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	57
5.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร	58
5.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหารสุกรรุ่น	59
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุป	62
6.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	
ก สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการศึกษาเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	73
ข ข้อมูลการศึกษาเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03	75
ค ข้อมูลน้ำหนักสุกรทดลองและการกินได้ของสุกรทดลอง	79
ง ภาพการทดลอง	82
ประวัติผู้วิจัย	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลังสด	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง	8
2.3 ผลผลิตมันสำปะหลังของโลก ปี พ.ศ. 2553 – 2558	9
2.4 ผลผลิตมันสำปะหลังของบางประเทศในทวีปเอเชีย ปี พ.ศ. 2553 – 2558	9
2.5 ผลิตภัณท์มันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2553 – 2558	10
2.6 การผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2504 – 2557	11
2.7 ปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2550 – 2558	16
2.8 ปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังใน สปป. ลาว ปี พ.ศ. 2550 – 2557	16
2.9 โภชนะในกากแป้งมันสำปะหลัง	17
2.10 ส่วนประกอบทางเคมีของกากแป้งมันสำปะหลังกับวัตถุดิบอาหารสัตว์บางอย่าง	18
2.11 การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากแป้งมันสำปะหลังในสุกร รุ่น	19
2.12 ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร	21
2.13 องค์ประกอบโภชนะในเชื้อรา	24
2.14 เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> group	25
2.15 การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และโภชนะของกากมันสำปะหลังที่เกิดการหมักแบบ ธรรมชาติ	29
2.16 ผลของการเติมเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักมันสำปะหลัง	30
2.17 การเพิ่มโภชนะของเปลือกสั้มด้วย <i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus oryzae</i> และ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	31
2.18 การเพิ่มโภชนะของเมล็ดเลฟส์ด้วยเชื้อรา <i>Rhizopus oligosporus</i>	31
2.19 ผลการใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp. และยีสต์ในสุกรรุ่น-ขุน	32
2.20 การย่อยได้ปรากฏของอาหารผสมกากมันสำปะหลังหมักยีสต์ในลูกสุกรเล็ก	33
2.21 ผลของกากเอทานอลจากข้าวโพดหมักเชื้อรา <i>Rhizopus microsporus</i> ต่อ สมรรถนะการผลิตของสุกรเล็ก	34
2.22 ผลของมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> <i>Lactobacillus</i> <i>acidophilus</i> และ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ต่อสมรรถนะการผลิตของนก กระทาญีปุ่นและคุณภาพซาก	35
3.1 สูตรอาหารทดลองและส่วนประกอบทางเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ใน สปป.ลาว ปี พ.ศ. 2558	42
4.1 เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ที่แยกได้จากตัวอย่างชนิดต่าง ๆ	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.2	กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp.	44
4.3	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03 (มิลลิเมตร) บนอาหาร PDA บ่มในสภาพอุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 วัน	45
4.4	เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03 กับเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> และ <i>Rhizopus stolonifera</i> จากรายงานของ Domsch and Games (1980)	48
4.5	ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังแห้ง และกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHHS03 แบบกึ่งของแข็ง เป็นเวลา 5 วัน	50
4.6	ผลการย่อยได้ปรากฏของโภชนะในอาหารทดลองของสุกรรุ่นสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน)	52
4.7	ผลของกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่นสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน)	54
ข.1	ค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHV01 RHB02 และ RHS03 ที่เลี้ยงบนอาหาร CMC เป็นเวลา 3 วัน	76
ข.2	จำนวนสปอร์ของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHV01 RHB02 และ RHS03 ที่เลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 5 วัน	77
ข.3	ความยาวก้านสปอร์ ความกว้างอับสปอร์และสปอร์ (ไมครอน) ของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03 ที่เลี้ยงบนแผ่นสไลด์ด้วยอาหาร PDA เป็นเวลา 5 วัน	78
ค.1	น้ำหนักสุกรรุ่นลูกผสมเหมยซานในแต่ละสัปดาห์ ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03	80
ค.2	อัตราการกินได้เฉลี่ยแต่ละสัปดาห์การกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้ง	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การวัดเชื้อแป้งของหัวมันสำปะหลังสดอย่างรวดเร็ว	7
2.2 เครื่องวัดหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังแบบดิจิตอล	8
2.3 กระบวนการผลิตมันเส้นคุณภาพดี	14
2.4 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	15
2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส	19
2.6 ลักษณะของกราฟการเจริญเติบโตของเชื้อรา	26
3.1 การแยกเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. โดยวิธีการ dilution plating technique	36
4.1 เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. จำนวน 3 ไอโซเลท ที่เจริญเติบโตได้ดีบนอาหาร CMC	44
4.2 ลักษณะการเกิดบริเวณส่วนไฮรอฟโคโลนีเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลทต่าง ๆ ที่เจริญบนอาหาร CMC	45
4.3 ลักษณะการแตกแขนงของราก (Rhizoids) ของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	46
4.4 ลักษณะก้านชูสปอร์ของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	46
4.5 อับสปอร์ (Sporangia) ของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	47
4.6 ลักษณะสปอร์ (sporangiospores) เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	47
4.7 ลักษณะกากมันสำปะหลังแห้งและกากแป้งมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03	50
ง.1 การเตรียมหัวเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 ด้วยข้าว	83
ง.2 การเตรียมหัวเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 ด้วยกากแป้งมันสำปะหลัง	83
ง.3 อาหารที่ผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ไอโซเลท RHS03 แต่ละระดับ	84
ง.4 คลอกสัตว์ทดลองและลักษณะสุกรทดลอง	85
ง.5 การชั่งน้ำหนักสุกรทดลอง	85
ง.6 สุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่เลี้ยงบนคลอกทดสอบการย่อยได้	85

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	คำอธิบาย
A.O.A.C	Association of Official Agricultural Chemists
ADFI	Average Daily Feed Intake
ADG	Average Daily Gain
BW	Body Weight
Ca	Calcium
CMC	Carboxy Methyl Cellulose
CRD	Completely Randomized Design
CF	Crude Fiber
CP	Crude Protein
DE	Digestible Energy
DM	Dry Matter
EE	Ether Extract
FCR	Feed Conversion Ratio
FAO	Food Agriculture Organization
G:F	Gain-to-Feed Ratio
g	Gram
GE	Gross Gnergy
HC	Hydrolysis Capacity
Kcal	Kilocalorie
Kg	Kilogram
LSD	Least Significant Difference
ME	Metabolizable energy
Met	Methionine
NRC	National Research Council
N	Nitrogen
ppm	Part Per Million
P	phosphorus
PDA	Potato Dextrose Agar
RCBD	Randomized Complete Block Design
SSF	Solid State Fermentation
SEM	Standard Error of the Mean
TTSA	Thai Tapioca Starch Association

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจเป็นอันดับ 5 ของโลก รองจาก ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่งและมีการปลูกอย่างแพร่หลายทั่วโลก ประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังเป็นอันดับต้นๆ ของเอเชียโดยมีเป้าหมายหลักคือ การผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อการส่งออกไปยังประเทศแถบยุโรป แต่ในปัจจุบันมันสำปะหลังถูกนำมาใช้ในการผลิตสัตว์ เช่น โคเนื้อ โคนม สุกร สัตว์ปีก รวมถึงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Wanapat and Sungchhang, 2015) ในภาคอุตสาหกรรมถูกนำไปผลิตแป้งมันสำปะหลัง และอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น การผลิตผงชูรส การผลิตยา การผลิตกรดอะมิโน การผลิตกาวยา การผลิตกรดซิตริก และการผลิตเป็นพลังงานทดแทน เช่น เอทานอล เป็นต้น (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2559)

สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) มีการปลูกมันสำปะหลังในทุกภูมิภาคของประเทศโดย ส่วนใหญ่ทำแห่งส่งขายมายังประเทศไทยโดยผ่านพ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น นอกจากนั้น มันสำปะหลังบางส่วนถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา สปป.ลาว มีโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 8 แห่ง โดยในพื้นที่เขตลาวใต้มี 3 แห่ง (ศูนย์สถิติแห่งชาติลาว, 2558) และพบว่าการใช้มันสำปะหลังในภาคอุตสาหกรรมแป้งมีอัตราที่เพิ่มขึ้นและในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่า มีกากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 60 ของหัวมันสำปะหลังสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตมีปริมาณที่มากเพียงพอที่จะพิจารณานำมาใช้ประโยชน์ เพราะกากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งเหลือประมาณร้อยละ 50 - 55 และสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ ด้วยคุณลักษณะของกากแป้งมันสำปะหลังที่มีโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูงจึงเป็นข้อจำกัดในการใช้เป็นอาหารสัตว์บางกลุ่มโดยเฉพาะในสัตว์กระเพาะเดียว เช่น สุกร และสัตว์ปีก (Kosoom et al., 2009; พรทิมล ตนสิงห์, 2551; Khempaka et al., 2009) ฉะนั้นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังได้ก็คือการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนและลดเยื่อใยของกากแป้งมันสำปะหลังได้ ซึ่งจุลินทรีย์ที่กล่าวถึง ได้แก่ เชื้อราและแบคทีเรียบางกลุ่ม (Kuhad et al., 2011)

เชื้อรา *Rhizopus* spp. เป็นเชื้อรากลุ่มหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) (Karmakar and Ray, 2011) ที่ช่วยในการย่อยสลายวัสดุทางการเกษตรที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสในปริมาณที่สูงให้ลดลง มีรายงานการนำเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไปหมักร่วมกับเปลือกส้มด้วยวิธีการหมักแบบอาหารแข็ง (Solid State Fermentation, SSF) พบว่า เปลือกส้มหลังจากหมักมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (Hamdy, 2013) นอกจากนั้นยังมีรายงานการนำกากเอทานอลที่ทำจากข้าวโพดมาหมักด้วย *Rhizopus microsporus* เพื่อเป็นอาหารสุกรเล็ก พบว่า กากเอทานอลมีโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 41 และสามารถผสมอาหารเลี้ยงสุกรเล็กได้สูงสุดถึงร้อยละ 20 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ การย่อยได้และสมรรถนะการผลิต (Dana Michael, 2014) ซึ่งการนำ

เชื้อรา *Rhizopus* spp. มาใช้ประโยชน์ในทางอาหารสัตว์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะทำให้ผู้ใช้สามารถพึ่งพาตนเองได้ เนื่องจากเชื้อราชนิดนี้พบได้ทั่วไปทั้งในประเทศไทยและประเทศลาว ซึ่งสามารถพบได้ทั้งในดินบริเวณโคนต้นไม้ อากาศ ผลไม้ที่เน่าเสีย ลูกแป้งสาโท มันสำปะหลังแห้งและกากแป้งมันสำปะหลังแห้ง (นภา โล่ห์ทอง, 2534) ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงคัดแยกเชื้อรา *Rhizopus* spp. จากลูกแป้งสาโท แป้งเหล้าขาว และตัวอย่างดิน ที่มีความสามารถลดสัดส่วนของเยื่อใยและเพิ่มสัดส่วนของโปรตีนของกากแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในอาหารสุกร

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทราบผลการใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* spp. ต่อการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถนะการผลิตในสุกรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่มีสัดส่วนสายพันธุ์ 50:25:25 น้ำหนัก 20 ถึง 50 กิโลกรัม (ตามข้อกำหนดน้ำหนักสุกรใน NRC, 1998)

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.3.1 เชื้อรา *Rhizopus* spp. สามารถเพิ่มสัดส่วนโปรตีน และลดสัดส่วนเยื่อใยในกากแป้งมันสำปะหลัง

1.3.2 กากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักเชื้อรา *Rhizopus* spp. มีค่าการย่อยได้ของโภชนะที่ดีและสามารถใช้ผสมในสูตรอาหารสุกรรุ่น (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) โดยมีสัดส่วนสายพันธุ์ 50:25:25 ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตเปรียบเทียบกับอาหารควบคุมสูตรมันสำปะหลัง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา *Rhizopus* spp. โดยเก็บรวบรวมเชื้อรา *Rhizopus* spp. จากตัวอย่างลูกแป้งสาโท แป้งเหล้าขาว และตัวอย่างดิน จากนั้นคัดเลือกเชื้อรา *Rhizopus* spp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสสูงในระดับห้องปฏิบัติการด้วยอาหาร Carboxy Methyl Cellulose (CMC) และจำแนกชนิดของเชื้อรา *Rhizopus* spp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ดีที่สุดโดยลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

1.4.2 เตรียมหัวเชื้อรา *Rhizopus oryzae*.ไอโซเลท RHS03 เพื่อหมักกับกากแป้งมันสำปะหลังอันดับแรกผลิตหัวเชื้อรา *Rhizopus oryzae*.ไอโซเลท RHS03 ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ดีที่สุดในข้าวหุงถึงสุกกึ่งดิบ จากนั้นนำหัวเชื้อราจากข้าวไปขยายเป็นหัวเชื้อราด้วยกากแป้งมันสำปะหลังอีกทีหนึ่ง โดยดำเนินการด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ สุ่มหัวเชื้อราที่ด้วยกากมันสำปะหลังบางส่วนไปวิเคราะห์โภชนะส่วนที่เหลือนำไปเป็นหัวเชื้อในการหมักกากแป้งมันสำปะหลังต่อไปโดยใช้การหมักแบบอาหารแข็ง (Solid State Fermentation, SSF) และนำไปวิเคราะห์โภชนะ ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) และพลังงาน ตามวิธีของ Kong and Adeola (2014)

1.4.3 ประกอบสูตรอาหารที่มีกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae*.ไอโซเลท RHS03 ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ซึ่งระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราสูงสุดร้อยละ 40 นั้นได้จากการคำนวณไม่ให้ระดับเยื่อใยในอาหารสุกรรุ่นสูงจนส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการย่อยได้และการผลิตตามข้อกำหนดใน NRC (1998) กำหนดระดับโปรตีนที่ร้อยละ 17 และพลังงาน 3,300

กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จากนั้นทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร แต่ละสูตรกับสุกรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่มีสัดส่วนสายพันธุ์ 50:25:25 น้ำหนัก 20 กิโลกรัม

1.4.4 ทดสอบสมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) มีสัดส่วนสายพันธุ์ 50:25:25 น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ถึง น้ำหนัก 50 กิโลกรัม (น้ำหนักตามข้อกำหนดใน NRC, 1998)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบวิธีการใช้ประโยชน์จากเชื้อรา *Rhizopus* spp. เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังเพื่อเป็นอาหารสุกรรุ่น (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนัก 20 ถึง 50 กิโลกรัม ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถพึ่งพาตนเองได้โดยไม่ต้องนำเข้าหัวเชื้อจากต่างประเทศซึ่งอาจมีราคาที่แพงและได้ข้อมูลทางวิชาการด้านอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ในประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ในภาษาฝรั่งเศส ว่า มานีโอค (Manioc) (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2558) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Manihot esculenta* Crantz อยู่ในวงศ์ของ Euphorbiaceae มีสกุลคือ Manihot และชนิดเป็น *esculenta* sp. มีถิ่นกำเนิดแถบเขตร้อน (Lowland tropics) ที่ละติจูด 30 องศาเหนือ และ 30 องศาใต้ (ไกววัล กล้าแข็ง, 2551) และมีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่ามีการปลูกมันสำปะหลังในประเทศโคลัมเบียและประเทศเวเนซุเอลามานานกว่า 3,000 ถึง 7,000 ปี มาแล้ว โดยสันนิษฐานว่า มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดในเขตต่าง ๆ เช่น ประเทศกัวเตมาลา แม็กซิโก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ ทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวีย ทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอาเจนตินา และทิศตะวันตกของประเทศบราซิล (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2558) สำหรับทวีปเอเชียมีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกครั้งแรกในประเทศฟิลิปปินส์ในคริสต์วรรษ ที่ 17 โดยชาวสเปนได้นำมันสำปะหลังจากประเทศเม็กซิโกมายังประเทศฟิลิปปินส์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2337 ได้นำเข้ามาปลูกในประเทศอินเดียเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้จัดจำแนกมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ดังนี้ (ไกววัล กล้าแข็ง, 2551)

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Manihot esculenta* Crantz

ชื่อสามัญ: Cassava, tapioca, manioc

วงศ์: Euphorbiaceae

สกุล: Manihot

ชนิด: *Esculent* sp.

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นที่มีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักลงในดิน ซึ่งส่วนนี้จะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือน รากฝอยดังกล่าวจะค่อย ๆ สะสมแป้งและมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า หัวมันสำปะหลังที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุ 6 เดือนหลังการปลูก และสามารถยืดอายุเก็บเกี่ยวออกไปได้ถึง 16 เดือน ซึ่งในขั้นตอนของ

การเก็บเกี่ยวก็จะตัดลำต้นออกก่อนและสามารถนำส่วนลำต้นไปเป็นท่อนพันธุ์และปลูกขยายต่อไป (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2558)

สำหรับประเทศไทยไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดแต่ คาดว่ามีการนำมันสำปะหลังมาจากประเทศมาเลเซียระหว่างปี พ.ศ. 2329 - 2383 โดยมีชื่อเดิม เรียกว่า มันไม้ และ มันสำโรง (ไกววัล กล้าแข็ง, 2551)

สำหรับประเทศลาวไม่มีข้อมูลที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกครั้งแรก เมื่อใด แต่จากการรายงานของ FAOSTAT, (2017) รายงานข้อมูลผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศ ลาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 โดยมีผลผลิตมันสำปะหลังประมาณ 10,000 ตัน ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วง ที่ประเทศตกเป็นอาณานิคมของประเทศฝรั่งเศส ดังนั้น การนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกครั้งแรกใน สปป. ลาว คาดว่าอยู่ระหว่างก่อนปี พ.ศ. 2504 หรือปี พ.ศ. 2504 และอาจกล่าวได้ว่าชาวฝรั่งเศสเป็น ผู้นำเข้ามาปลูก

2.1.2 ชนิดของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังทั่วโลกมีประมาณ 150 พันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน แต่สามารถ จำแนกได้โดยใช้หลัก 3 ประการคือ การจำแนกตามลักษณะภายนอก ปริมาณของกรดไฮโดรไซยาไนด์ (Hydro cyanic acid) และอายุการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยมีพันธุ์ของมัน สำปะหลังที่ปลูกทั่วไปอยู่ 3 กลุ่ม (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559) ได้แก่

2.1.2.1 พันธุ์ชนิดหวาน (Sweet type)

เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยาไนด์ (HCN) ต่ำ เป็นพันธุ์ที่ใช้หัว เพื่อการบริโภคได้โดยตรง รสไม่ขม มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อเหนียวแน่น นิยมนำมาเชื่อม บิง เฉาะ ไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ในประเทศไทยมีพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ ห่านาที่และพันธุ์ระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้น พันธุ์นี้สังเกตได้ทั้งก้านใบมีสี แดงเข้มทั้งก้าน และเปลือกของหัวขรุขระ มีสีน้ำตาล หัวมักมีสีออกเหลือง (ไกววัล กล้าแข็ง, 2551)

2.1.2.2 พันธุ์ชนิดขม (Bitter type)

เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยาไนด์ (HCN) สูงกว่าพันธุ์ชนิดหวาน มีรสขม เนื้อหยาบ ไม่เหมาะนำไปบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวมันสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่เป็นพันธุ์ที่มี ปริมาณแป้งสูงและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด และ แอลกอฮอล์ การแปรรูปเป็นอาหารต้องทำลายกรดไซยาไนด์ก่อนโดยใช้การตากแดด การเผาและการ ต้ม ซึ่งจะทำให้ไซยาไนด์แตกตัวหมดไป ทำให้รสขมลดลงได้ พันธุ์มันสำปะหลังชนิดขมเป็นพันธุ์ที่มี พื้นที่ปลูกมากที่สุดเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมนำไปแปรรูปทั้งมันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันและผลิต เอทานอล และแอลกอฮอล์ พันธุ์มันสำปะหลังที่จัดว่าเป็นชนิดขม ได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 พันธุ์ระยอง 2 พันธุ์ระยอง 3 พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ระยอง 7 พันธุ์ระยอง 9 พันธุ์ระยอง 60 พันธุ์ระยอง 72 และพันธุ์ ระยอง 90 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 พันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์ห้วยบง 80 (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

2.1.2.3 พันธุ์ที่ใช้ประดับ

เป็นพันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นไม้ประดับตามสถานที่ต่าง ๆ เพื่อความสวยงามมีชื่อเรียกว่า มันท่าง เนื่องจากใบมีแถบสีขาวและเหลือง กระจายตามความยาวของใบและยังมีพันธุ์มันท่าใช้ปลูกเพื่อให้ร่มเงา เป็นไม้พุ่มขนาดกลางถึงใหญ่พบได้ที่จังหวัดชลบุรีและระยอง (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

2.1.3 องค์ประกอบของน้ำมันสำปะหลัง

น้ำมันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้รากในรูปของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งมีความผันแปรตามพันธุ์ อายุเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงปี การผลิต พื้นที่ปลูก และควรเก็บเกี่ยวน้ำมันสำปะหลังที่อายุ 8 - 12 เดือน ไม่ควรเก็บเกี่ยวในช่วงฝนตกชุกเพราะมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ (ไกววัล กล้าแข็ง, 2551) น้ำมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำฝนที่พอเหมาะจะมีน้ำในหัวมันสดประมาณร้อยละ 60.21 - 75.32 นอกจากส่วนของน้ำแล้วยังมีส่วนของเปลือกที่มีประมาณร้อยละ 4.08 - 14.08 และส่วนที่สำคัญที่เป็นจุดเด่นของน้ำมันสำปะหลังคือส่วนที่เป็นเนื้อที่มีประมาณร้อยละ 25.87 - 41.88 ซึ่งในส่วนนี้เมื่อนำไปทำเป็นมันเส้นจะมีส่วนที่เป็นแป้งประมาณร้อยละ 70 - 80 (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546) และจากการเปรียบเทียบปริมาณแป้งในน้ำมันสำปะหลัง 5 สายพันธุ์ ในประเทศไนจีเรีย โดย Achinewhu et al., (1998) พบว่า น้ำมันสำปะหลังทั้ง 5 สายพันธุ์มีปริมาณแป้งไม่แตกต่างกันโดยมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 83.4 - 84.9 นอกจากส่วนที่เป็นแป้งแล้วหัวมันสดยังมีกรดไซยาไนด์ ที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่งกรดดังกล่าวมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันสำปะหลังโดยชนิดชมพูจะมีมากกว่าชนิดหวานมีปริมาณตั้งแต่ 26 ± 1.6 ถึง 38 ± 2.6 มิลลิกรัมต่อหัวมันสด 100 กรัม (Ezeala and Okoro, 1986) และกรดดังกล่าวจะถูกทำลายเมื่อโดนความร้อน เช่น การทำแห้งด้วยแสงแดด การเผา การต้ม หรือความร้อนจากการอัดเม็ด ดังนั้น ผลิตภัณฑ์มันเส้นหรือมันอัดเม็ดซึ่งผ่านการตากแดดและอัดเม็ดจึงปลอดภัยจากพิษของกรดไซยาไนด์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546) (ตารางที่ 2.1)

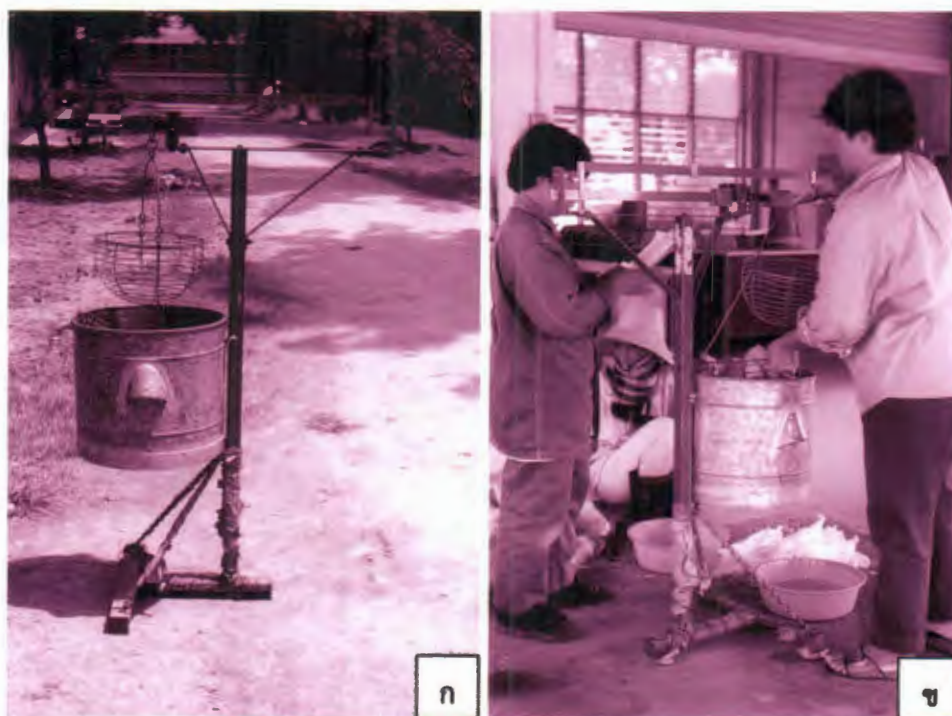
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลังสด

องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำ	60.21 - 75.32
เปลือก	4.08 - 14.08
เนื้อ	25.87 - 41.88
แป้ง (คิดจากเปอร์เซ็นต์เนื้อที่ทำแห้ง)	71.90 - 85.00
กรดไซยาไนด์ (ppm)	2.85 - 39.27

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด (2546)

สำหรับเกณฑ์ในการกำหนดราคาซื้อ-ขายหัวมันสำปะหลังสดจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังดิบ ถ้ามันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์แป้งมากก็จะขายได้ในราคาสูง ดังนั้น การวัดเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลังสดนั้นมีความจำเป็นอย่างมาก

การวัดเปอร์เซ็นต์แป้งในอดีตโดยการชั่งหัวมันสำปะหลังสดในน้ำ ซึ่งเป็นที่นิยมทำกัน นับว่าเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดโดยมีวิธีการชั่งคือ นำหัวมันสำปะหลังสดที่จะวัดไปปอกเปลือก แล้วล้างทำความสะอาดเพื่อลดการปนเปื้อนของดินและตะกอนทราย จากนั้นชั่งหัวมันที่ปอกเปลือกแล้วประมาณ 5 กิโลกรัม มาชั่งในเครื่องชั่งที่มีถังใส่น้ำเรียบร้อย สำหรับการอ่านผลคือ ถ้าน้ำหนักที่ชั่งได้น้อยแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักที่ชั่งได้มากก็แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก (ภาพที่ 2.1 ก และ ข) (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546)



ภาพที่ 2.1 การวัดเชื้อแป้งของหัวมันสำปะหลังสดอย่างรวดเร็ว

(ก) เครื่องชั่งมันสำปะหลังในน้ำ

(ข) การวัดเชื้อแป้งของหัวมันสำปะหลังสด

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด (2546)

สำหรับการตรวจวัดปริมาณแป้งในหัวมันสด ในปัจจุบันมีเครื่องวัดหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังแบบดิจิทัล โดยแสดงค่าเปอร์เซ็นต์เป็นตัวเลขตั้งแต่ ร้อยละ 10 – 40 โดยมีวิธีการวัดคือ นำตัวอย่างหัวมันสำปะหลังสดที่ปอกเปลือก 5 กิโลกรัม ทำความสะอาดดินออกและปอกเปลือกแล้วนำมาชั่งในเครื่องชั่ง จากนั้นเครื่องจะประมวลผลโดยอัตโนมัติ โดยสามารถพิมพ์ผลการวัดทันทีที่วัดเสร็จ พร้อมวันที่ เวลา จำนวนครั้งที่วัดและค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง ค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วย นอกจากนี้ยัง

สามารถเชื่อมต่อเข้ากับจอแสดงผลขนาดใหญ่ เพื่อแสดงผลการวัดให้กับ บุคคลภายนอกเห็นได้อย่างชัดเจน จากนั้นยังสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล หรือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ร่วมกับเครื่องซึ่งรถบรรทุกได้ด้วย โดยเครื่องตรวจวัดปริมาณแ่งอัดโนมิติ (บริษัท จีเนียสดีไซด์ แอนด์ แอนจีเนียริง ห้างหุ้นส่วนจำกัด, 2009) (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 เครื่องวัดหาปริมาณแ่งในหัวมันสำปะหลังแบบดิจิทัล

ที่มา: บริษัท จีเนียสดีไซด์ แอนด์แอนจีเนียริง ห้างหุ้นส่วนจำกัด (2009)

นอกจากส่วนของแ่งที่เป็นส่วนประกอบหลักแล้วในมันสำปะหลังแห้งยังมีโภชนะอื่นด้วย เช่น โปรตีน เยื่อใย ไขมัน แคลเซียมและฟอสฟอรัส ประมาณร้อยละ 2.80, 1.60, 0.70, 0.10 และ 0.02 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังมีพลังงาน 3,344 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (อุทัย คันโธ, 2529) (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในเนื้อมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน	2.80
เยื่อใย	1.60
ไขมัน	0.70
แคลเซียม	0.10
ฟอสฟอรัส	0.02
พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,344

ที่มา: อุทัย คันโธ (2529)

2.1.4 การผลิตมันสำปะหลังของโลก

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเป็นอันดับที่ 5 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อนโดยเฉพาะประเทศในทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศในกลุ่มยุโรป อุตสาหกรรมแป้งและอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เช่น สาคุ ผงชูรส กรดอะมิโน กาว รวมถึงการนำไปผลิตพลังงานทางเลือก ผลผลิตมันสำปะหลังในระยะ 6 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2558 มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (FAO, 2015) (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ผลผลิตมันสำปะหลังของโลก ปี พ.ศ. 2553 – 2558 (หน่วย: พันตัน)

ทวีป	ปี พ. ศ.					
	2553	2554	2555	2556	2557	2558
แอฟริกา	126,627	132,119	146,371	160,858	165,661	162,541
เอเชีย	78,086	82,587	84,996	87,238	90,480	92,967
ลาตินอเมริกา	33,029	35,170	30,472	30,223	31,875	33,079
เขตโอเซเนีย	271	277	233	245	248	257
ผลผลิตรวม	238,013	250,153	262,072	278,564	288,264	288,845

ที่มา: FAO (2015)

สำหรับทวีปเอเชีย ผลผลิตมันสำปะหลังมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยในปี พ.ศ. 2558 ทวีปเอเชียมีผลผลิตมันสำปะหลัง 92,967 พันตัน หรือ 92.96 ล้านตัน และประเทศที่เป็นผู้ผลิตอันดับที่ 1 ในปี 2555 - 2558 ได้แก่ ประเทศอินโดนีเซีย เนื่องจากประเทศไทยประสบปัญหาการระบาดของเพลี้ยแป้งและภัยแล้งส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (FAO, 2015) และในปี พ.ศ. 2553 - 2558 ประเทศไทยกลับมาเป็นผู้นำในการผลิตมันสำปะหลังถึงสี่ปีซ้อน (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ผลผลิตมันสำปะหลังบางประเทศในทวีปเอเชีย ปี พ.ศ. 2553 – 2558 (หน่วย: พันตัน)

ประเทศ	ปี พ.ศ.					
	2553	2554	2555	2556	2557	2558
อินโดนีเซีย	23,908	25,936	24,177	23,937	25,000	24,500
ไทย	22,006	21,912	26,601	28,276	30,228	33,611
เวียดนาม	8,522	8,863	9,746	9,743	9,750	10,000
อินเดีย	8,060	8,743	8,047	8,237	8,140	8,000

ที่มา: FAO (2015)

ตารางที่ 2.4 ผลผลิตมันสำปะหลังบางประเทศในทวีปเอเชีย ปี พ.ศ. 2553 – 2558
(หน่วย: พันตัน) (ต่อ)

ประเทศ	ปี พ.ศ.					
	2553	2554	2555	2556	2557	2558
จีน	8,000	8,500	4,560	4,585	4,593	4,500
กัมพูชา	4,247	5,158	7,614	8,000	8,000	7,800
ฟิลิปปินส์	2,101	2,185	2,223	2,361	2,500	2,400
สปป. ลาว	500	743	1,061	1,254	1,629	1,553
อื่น ๆ	1,468	767	967	845	640	603
ทั่วเอเชีย	78,812	84,8750	84,996	87,238	90,480	92,967

ที่มา: FAO (2015)

2.1.5 ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นผู้ที่ผลิตมันสำปะหลังมากที่สุดในทวีปเอเชีย โดยในปี พ.ศ. 2558 มีผลผลิตมันสำปะหลังออกสู่ตลาดประมาณ 33.61 ล้านตัน และมีการส่งออกผลผลิตมันสำปะหลังมากที่สุดในโลกประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมดที่ผลิตได้ในประเทศเพราะคนไทยไม่นิยมบริโภคมันสำปะหลัง และผลผลิตจากมันสำปะหลังที่ส่งออกได้แก่ มันเส้นอัดเม็ด มันเส้น แป้งมันดิบและสาคุ ซึ่งมีปริมาณการส่งออกในปี พ.ศ. 2553 – 2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2553 – 2558
(หน่วย: ตัน, มูลค่า: ล้านบาท)

ปี พ.ศ.	มันอัดเม็ด		มันเส้น		แป้งมัน สำปะหลังดิบ		สาคุ		รวมทั้งสิ้น	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2553	156	785.11	4,116	25,192	1,740	24,552	25.01	560	6,038	51,091
2554	360	283.90	3,693	29,252	1,891	28,238	30.89	675	5,652	58,449
2555	4,611	33,239	4,611	33,239	2,235	30,796	23.54	580	11,483	97,855
2556	5,755	39,515	5,755	39,515	2,445	34,879	27.01	636	13,983	114,546
2557	6,777	48,872	6,777	48,872	3,012	41,053	28.06	715	16,594	139,514
2558	7,259	51,868	7,259	51,868	2,923	41,166	29.66	771	17,472	145,675

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

2.1.6 ประวัติการผลิตมันสำปะหลังของประเทศลาว

มันสำปะหลังเป็นพืชที่นิยมปลูกของเกษตรกรลาว โดยมีข้อมูลการปลูก และผลผลิตตั้งแต่ พ.ศ. 2504 แต่การผลิตในระยะแรก ๆ นั้นมีปริมาณค่อนข้างต่ำเพราะมันสำปะหลังที่ปลูกส่วนใหญ่เพื่อบริโภคและเป็นพันธุ์ที่ยังไม่มีการปรับปรุงการผลิตและใช้แรงงานคนทั้งหมด การผลิตเป็นไปด้วยความลำบากเนื่องจากตกเป็นอาณานิคมของฝรั่งเศสตลอดระยะเวลากว่า 15 ปี พ.ศ. 2504 – 2518 พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศไม่ถึง 10,000 ไร่ และมีผลผลิตไม่ถึง 25,000 ตัน ส่วนมากเป็นพื้นที่ปลูกของอาณานิคม อย่างไรก็ตามหลังจากที่ได้รับการปลดปล่อยจากการเป็นอาณานิคมของฝรั่งเศสหลังปี พ.ศ. 2518 (พ.ศ. 2519 - 2543) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า และมีผลผลิตถึง 70,000 ตัน แต่สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของประเทศลาวในปี พ.ศ. 2546 ลดลงถึงจุดต่ำสุดอย่างไม่เคยมีมาก่อน โดยทั่วประเทศมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพียง 4,313 ไร่ และมีผลผลิต 4,035 ตัน เนื่องจากขาดความรู้ด้านวิชาการ พันธุ์ที่ปลูกเป็นพันธุ์พื้นเมือง ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ในปี พ.ศ. 2547 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของประเทศลาวดีขึ้น เพราะมีการนำมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ประเทศไทยและประเทศเวียดนาม เข้ามาปลูกโดยมีพ่อค้ารับซื้อ และประกันราคาให้เกษตรกร อีกทั้งยังมีระบบการปลูกแบบมีส่วนร่วมระหว่างโรงงานกับเกษตรกร (Contract farming system) ทำให้พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2547 มีพื้นที่ปลูก 50,938 ไร่ มีผลผลิตมันสำปะหลัง 55,500 ตัน มาถึงปี พ.ศ. 2557 พื้นที่ปลูกได้เพิ่มขึ้นเป็น 377,969 ไร่ และมีผลผลิต 1,629,805 ตัน และข้อมูลการผลิต มันสำปะหลังของประเทศลาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 – 2557 (FAOSTAT, 2017) (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 การผลิตมันสำปะหลังของประเทศลาว ปี พ.ศ. 2504 – 2557

ปี พ.ศ.	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตทั้งหมด (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน)
2504	6,250	10,000	1.60
2505	9,375	11,000	1.17
2506	9,375	11,000	1.17
2507	5,625	9,000	1.60
2508	6,250	10,000	1.60
2509	5,000	10,000	2.00
2510	5,000	11,000	2.20
2511	5,625	12,000	2.13
2512	6,250	13,000	2.08
2513	6,875	15,000	2.18
2514	7,500	17,000	2.27
2515	8,125	20,000	2.46
2516	9,375	23,000	2.45
2517	10,000	24,000	2.40

ตารางที่ 2.6 การผลิตมันสำปะหลังของประเทศลาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 – 2557 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตทั้งหมด (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน)
2518	8,125	20,000	2.46
2519	13,750	34,000	2.47
2520	17,500	44,000	2.51
2521	22,500	55,000	2.44
2522	25,000	60,000	2.40
2523	28,125	68,000	2.42
2524	28,750	70,000	2.43
2525	30,000	72,000	2.40
2526	31,250	70,000	2.24
2527	31,250	68,000	2.18
2528	31,250	70,000	2.24
2529	31,250	70,000	2.24
2530	28,125	65,000	2.31
2531	27,500	60,000	2.18
2532	31,250	62,000	1.98
2533	27,563	65,000	2.36
2534	28,844	66,000	2.29
2535	30,206	67,000	2.22
2536	31,656	68,000	2.15
2537	34,050	68,000	2.00
2538	35,244	68,500	1.94
2539	31,875	70,000	2.20
2540	36,219	70,000	1.93
2541	36,944	70,000	1.89
2542	32,500	71,000	2.18
2543	45,625	71,000	1.56
2544	10,688	7,010	0.66
2545	25,781	29,211	1.13
2546	4,313	4,035	0.94
2547	50,938	55,500	1.09
2548	42,281	51,300	1.21
2549	105,500	174,490	1.65
2550	68,844	233,420	3.39
2551	93,719	261,970	2.80

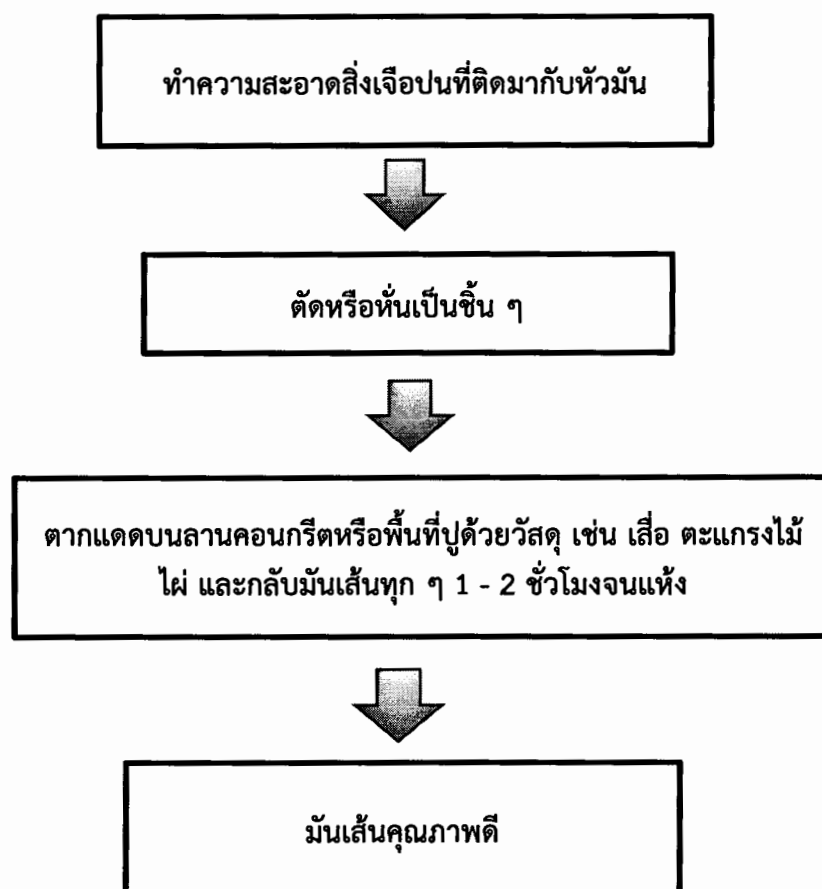
ตารางที่ 2.6 การผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 – 2557 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตทั้งหมด (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน)
2552	64,844	152,590	2.35
2553	124,625	500,090	4.01
2554	194,594	743,190	3.82
2555	274,844	1,060,880	3.86
2556	282,406	1,254,188	4.44
2557	377,969	1,629,805	4.31

ที่มา: FAOSTAT (2017)

2.1.7 มันเส้น (Cassava chip)

มันเส้นได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดด 2 - 3 วัน ให้แห้งเป็นการแปรรูปที่ง่าย เกษตรกรสามารถทำได้เองโดยใช้เครื่องตัดหัวมันเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตาก เมื่อแห้งดีแล้วทำการเก็บ เพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด และอุตสาหกรรมแป่งต่อไป โดยปกติหัวมันสำปะหลังสด 2.5 กิโลกรัม จะผลิตเป็นมันเส้นได้ 1 กิโลกรัม (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2558) และมีขั้นตอนการแปรรูป ดังแสดงในภาพที่ 2.3



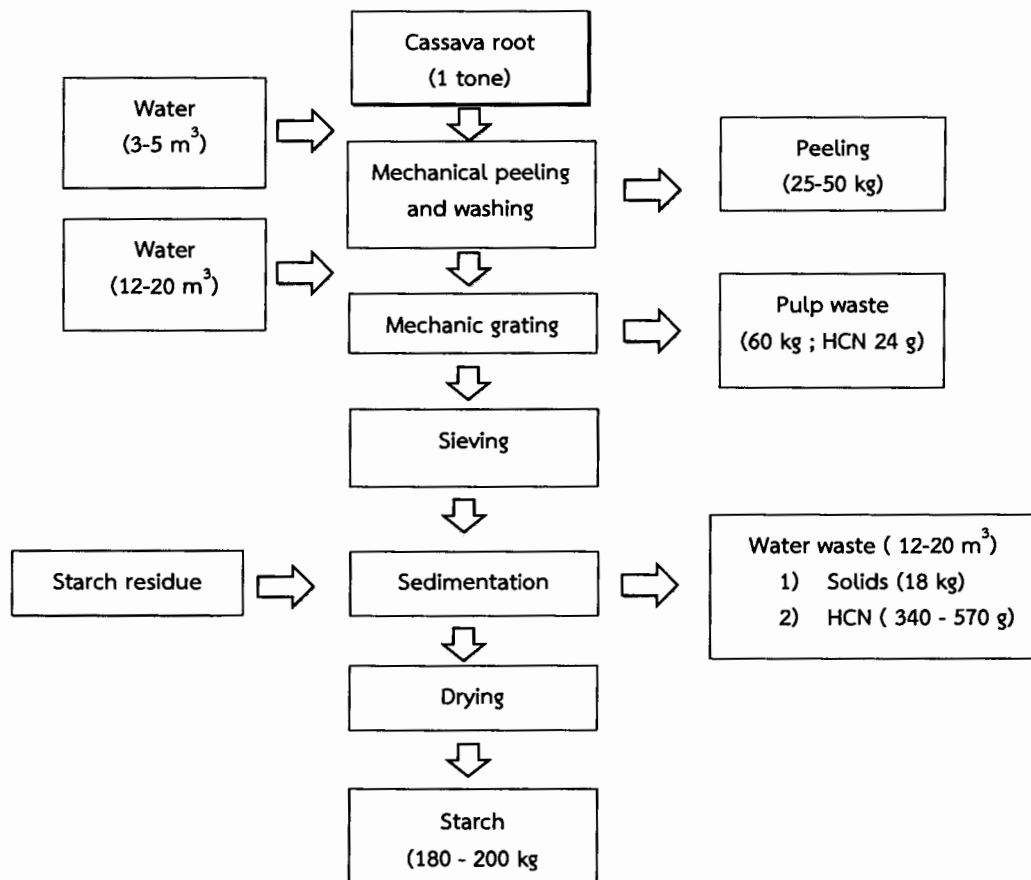
ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตมันเส้นคุณภาพดี

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย
(2558)

2.2 กากแป้งมันสำปะหลัง

2.2.1 กระบวนการผลิตมันสำปะหลัง

กากแป้งมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จากการรายงานของ FAO (2000) พบว่า หัวมันสำปะหลังสด 1 ตันที่เข้าสู่กระบวนการผลิตจะได้แป้งมันสำปะหลังดิบประมาณ 180 - 200 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 18- 20 ส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมากที่สุดคือ กากแป้งมันสำปะหลังคิดเป็นร้อยละ 60 และส่วนที่เหลือคือ เปลือกกล้วย เปลือกดินและของแข็งต่าง ๆ ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
ที่มา: FAO (2000)

สำหรับประเทศไทยที่มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลังปีละ 2 - 3 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) มีกากแป้งมันสำปะหลังที่เหลือจากระบบการผลิตปีละประมาณ 8 - 9 ล้านตัน และมีปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2550 - 2558 (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2550–2558 (หน่วย: พันตัน)

ปี พ.ศ.	ผลผลิตหัวมันสดทั้งหมด	หัวมันที่ใช้ผลิตแป้ง	กากแป้งมันสำปะหลัง
2550	26,091.60	8,827.00	5,296.20
2551	25,156.00	7,949.00	4,769.40
2552	30,088.00	9,986.00	5,991.60
2553	22,006.00	9,727.00	5,836.20
2554	21,912.00	10,725.00	6,435.00
2555	26,600.00	12,325.00	7,395.00
2556	28,276.00	12,228.05	7,336.83
2557	30,228.00	15,060.55	9,036.33
2558	33,611.00	14,617.20	8,770.32

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

สำหรับ สปป.ลาว มีผลผลิตมันสำปะหลังสดในปี พ.ศ. 2557 ประมาณ 1,028,000 ตัน โดยหัวมันสำปะหลังสดประมาณ 100,000 ตัน ถูกนำไปผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในแต่ละปี สปป.ลาว มีการผลิตแป้งมันสำปะหลังประมาณ 20,000 - 30,000 ตัน (ศูนย์สถิติแห่งชาติลาว, 2558) โดยในแต่ละปี สปป.ลาว จะมีกากแป้งมันสำปะหลังที่ออกมาจากระบบการผลิตประมาณปีละ 50,000 - 60,000 ตัน ปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังใน สปป. ลาว ปี 2550 - 2557 แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณกากแป้งมันสำปะหลังใน สปป. ลาว ปี พ.ศ. 2550 - 2557 (หน่วย: ตัน)

ปี พ.ศ.	หัวมันสด	หัวมันสำปะหลัง ที่ใช้ผลิตแป้ง	แป้งมันสำปะหลัง	กากแป้งมัน สำปะหลัง
2552	152,590	51,375	10,275	30,825
2553	500,090	64,630	12,926	38,778
2554	743,190	81,315	16,263	48,789
2555	1,060,880	97,380	19,476	58,428
2556	1,254,188	106,140	21,228	63,684
2557	1,629,805	108,475	21,695	65,085

ที่มา: ศูนย์สถิติแห่งชาติลาว (2558)

2.2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของกากแป้งมันสำปะหลัง

กากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เมื่อนำมาตากจนแห้งจะมีแป้งคงเหลือประมาณร้อยละ 45 – 66 และโภชนะอื่นเช่น โปรตีน ไขมันและเถ้าประมาณร้อยละ 1.64 - 3.39, 0.13 - 0.39 และ 1.2 - 5.75 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีปริมาณเยื่อใยประมาณร้อยละ 12 - 16 ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 โภชนะในกากแป้งมันสำปะหลัง

แหล่งอ้างอิง	โภชนะ (ร้อยละ)					
	วัตถุแห้ง	แป้ง	โปรตีน	เยื่อใย	ไขมัน	เถ้า
สุกัญญา ทิมทอง (2546)	95.25	45 - 50	2.00	12.02	0.27	3.84
สุเมธ ไตรพฤกษ์ชาติ (2553)	89.12	50.20	2.35	14.57	0.53	5.32
ปรีดา คำศรี และคณะ(2552)	88.66	47.97	3.42	14.75	0.50	5.73
พรทิมล ตนสิงห์ (2551)	89.60	66.33	2.36	16.06	0.26	4.59
Khempaka et al.,(2009)	93.60	53.55	1.98	13.59	0.13	2.83
Kosoom (2009)	88.51	50.19	2.37	14.00	0.39	5.75
Suksombat et al.,(2006)	92.60	-	2.60	6.60	0.20	3.80

2.2.3 เปรียบเทียบโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังกับวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น

มันเส้น ข้าวโพดและปลายข้าวคือวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้แก่สุกร โดยในข้าวโพด และปลายข้าวมีโปรตีนใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 8 แต่มันเส้นและกากแป้งมันสำปะหลังมีประมาณร้อยละ 2 ส่วนไขมันพบว่าข้าวโพดมีมากที่สุดโดยมีประมาณร้อยละ 4.8 รองลงมาคือ ปลายข้าว มันเส้น และกากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีประมาณร้อยละ 0.90, 0.75 และ 0.39 ตามลำดับ สำหรับปริมาณเยื่อใยพบว่า กากแป้งมันสำปะหลังมีมากที่สุดโดยมีประมาณร้อยละ 14 รองลงมาคือ มันเส้น ข้าวโพด และปลายข้าว โดยมีประมาณร้อยละ 3.70, 2.50 และ 1.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า กากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าโภชนะด้อยที่สุด เพราะมีโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูง นอกจากนั้นค่าการย่อยได้ของพลังงานต่ำ ส่วนคุณภาพของโปรตีนโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็นด้อยกว่า (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของกากแป้งมันสำปะหลังกับวัตถุดิบอาหารสัตว์
บางอย่าง (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

โภชนะ (ร้อยละ)	กากแป้งมันสำปะหลัง (1)	มันเส้น (2)	ข้าวโพด (3)	ปลายข้าว (3)
วัตถุดิบแห้ง	87.60	89.80	87.40	86.00
โปรตีน	2.00	2.50	8.00	8.00
ไขมัน	0.39	0.75	4.8	0.90
เยื่อใย	14.00	3.70	2.50	1.00
แคลเซียม	0.74	0.12	0.01	0.03
ฟอสฟอรัส	0.04	0.05	0.10	0.04
DE (kcal/kg)	3,027	3,260	3,300	3,596
Lysine	0.23	0.09	0.25	0.27
Methionine	0.03	0.03	0.19	0.27
Cystine	0.001	0.03	0.39	0.16
Tryptophan	0.02	0.02	0.09	0.10
Threonine	0.03	0.07	0.32	0.57
Isoleucine	0.05	0.07	0.34	0.45
Arginine	0.15	0.12	0.40	0.36
Leucine	0.13	0.12	1.17	0.71
Phenylalanine	0.08	0.06	0.81	0.57
Histidine	0.05	0.03	0.25	0.18
Valine	0.03	0.09	0.46	0.53
Glycine	0.02	0.08	0.33	0.71

ที่มา: (1) Kosoom et al., (2009); (2) อุทัย คันโธ (2529); (3) NRC (1998)

2.2.4 การย่อยได้ของกากแป้งมันสำปะหลังในสุกร และพลังงานใช้ประโยชน์ได้

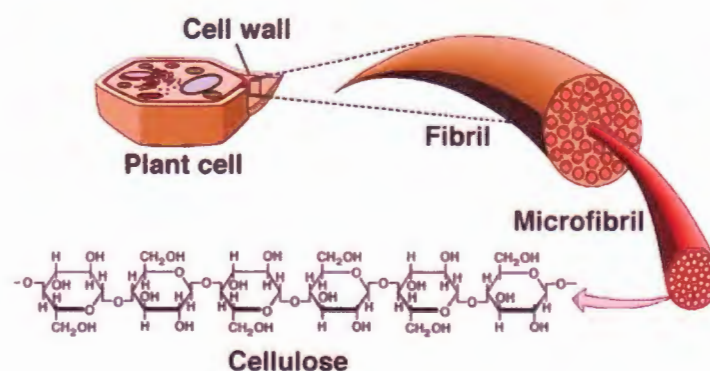
กากแป้งมันสำปะหลังมีค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้งในสุกรรุ่นประมาณร้อยละ 70.96 - 77.22 การย่อยได้ของโปรตีนประมาณร้อยละ 64.45 - 71.34 ส่วนการย่อยได้ของเยื่อใยมีประมาณร้อยละ 55.26 - 62.71 โดยมีพลังงานทั้งหมดประมาณ 3,852 - 4,178 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 2,461 - 2,664 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2.11)

ตารางที่ 2.11 การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากแป้งมันสำปะหลังในสุกร
รุ่น

การย่อยได้ของโภชนะ	สุกัญญา ทิมทอง (2546)	พรทิมล ตนสิงห์ (2551)	วริยา โกสม (2552)
สิ่งแห้ง	73.22	70.96	-
โปรตีน	71.34	64.45	66.20
เยื่อใย	55.26	62.71	-
ไขมัน	47.96	-	76.48
พลังงานทั้งหมด (kcal/kg)	3,872	4,178	3,852
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	2,664	2,553	2,461

2.3 เยื่อใยในกากแป้งมันสำปะหลัง

เยื่อใยของกากแป้งมันสำปะหลังประกอบด้วยสารชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) คิวติน (cutin) ซิลิกา (silica) แทนนิน (tanin) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash) แต่มีสารเพียง 3 ชนิดที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) โดยคิดเป็นร้อยละ 8.10, 2.80 และ 2.20 ของกากแป้งมันสำปะหลังแห้ง ตามลำดับ (Djuma et al., 2011) โดยที่เซลลูโลสเป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุดโดยมีโครงสร้างเป็นเส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่า ไฟบริล (fibril) ซึ่งมีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 10,000 หน่วย เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตา (1,4- β -glucosidic linkage) (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: Randy et al., (1997)

โดยทั่วไปแล้วสัตว์ไม่สามารถย่อยหรือใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสได้ยกเว้นจุลินทรีย์เพราะมีความสามารถผลิตเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลส แม้แต่ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่นับว่าเป็นสัตว์ที่สามารถย่อยและใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสได้เป็นอย่างดีเพราะมีจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราเป็นตัวช่วยย่อย (Wanapat and Sungchhang, 2015) ส่วนสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุนัขใช้ประโยชน์จากเยื่อไผ่ได้น้อย (Lindberg, 2014)

2.4 การใช้กากแป้งมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร

นุจิรา ทักสินานันต์ และคณะ (2553) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรเล็กน้ำหนัก 7.2 กิโลกรัม จำนวน 128 ตัวโดยใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 0 และ 10 ใช้เวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการกินได้และอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สุกรที่ได้รับอาหารกากแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 10 มีอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) วรียา โกสม (2552) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรเล็กน้ำหนัก 7 กิโลกรัม จำนวน 192 ตัว โดยใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ใช้เวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

พรทิมล ตนสิงห์ (2551) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรรุ่นน้ำหนัก 30 กิโลกรัม จำนวน 180 ตัว โดยใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 0, 10 และ 20 ใช้เวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของ นาริรัตน์ เจริญวัฒนสกุล และคณะ (2552) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 26 กิโลกรัม จำนวน 96 ตัว โดยใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ใช้เวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

สุกัญญา ทิมทอง (2546) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอาหารอัตราร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 ในสูตรอาหารสุกรรุ่น-ขุน โดยสุกรรุ่น จำนวน 32 ตัว น้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนั้น ยังทดสอบต่อในสุกรขุน จำนวน 32 ตัว น้ำหนัก 60 – 95 กิโลกรัม พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

พรทิมล ตนสิงห์ (2551) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรขุนน้ำหนัก 80 กิโลกรัมจำนวน 180 ตัว โดยใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 0, 20 และ 40 ใช้เวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ดังนั้น จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรมานานกว่า 10 ปี ทำให้ทราบว่ากากแป้งมันสำปะหลังสามารถใช้ผสมในอาหารสุกรเล็กได้สูงสุดถึงร้อยละ 10 - 15 แต่

ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพราะสัดส่วนกากแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสุกรเล็กลดลง แต่เมื่อสุกรโตขึ้นสัดส่วนการใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอาหารก็ใช้ได้มากขึ้น โดยในสุกรรุ่นสามารถใช้ได้สูงสุดถึงร้อยละ 20 - 30 และในสุกรขุนสามารถใช้ได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 - 40 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากากแป้งมันสำปะหลังแห้งจะสามารถผสมในสูตรอาหารและใช้เลี้ยงสุกรได้แต่ก็นับว่ายังอยู่ในสัดส่วนที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่สุกรเล็กใช้ได้ถึงร้อยละ 20 - 30 สุกรรุ่นใช้ได้ถึงร้อยละ 40 - 50 และในสุกรขุนใช้ได้ถึงร้อยละ 60 - 70 (อุทัย คันโร, 2529) (ตารางที่ 2.12)

ตารางที่ 2.12 ผลการใช้กากแป้งมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร

ประเภท สุกร	กากแป้งมัน สำปะหลัง (%)	สมรรถนะการผลิต			อ้างอิง
		การกินได้เฉลี่ย (กรัม/วัน)	อัตราการ เจริญเติบโต (กรัม/วัน)	อัตรา แลกเปลี่ยน อาหาร	
สุกรเล็ก	0	586	322 ^a	1.83	นุจิรา ทักษิณานันต์ และคณะ (2553)
	10	540	267 ^b	2.03	
	0	494	291	1.68	
	5	487	289	1.69	วริยา โกสุม และคณะ (2552)
	10	516	288	1.78	
	15	481	267	1.81	
สุกรรุ่น	0	1800	770	2.35	สุกัญญา ทิมทอง (2546)
	10	1850	770	2.41	
	20	1680	730	2.31	
	30	1750	720	2.44	
	0	1,550	858	1.81	พรทิมล ตนสิงห์ (2551)
	10	1,530	843	1.82	
	20	1,510	829	1.82	
	0	2,657	720	3.69	นาริรัตน์ เจริญวัฒน์ สกุล และคณะ (2552)
	10	2,585	710	3.64	
	20	2,561	685	3.72	
	30	2,461	680	3.70	

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 2.12 ผลการใช้กากแป้งมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร (ต่อ)

ประเภท สุกร	กากแป้งมัน สำปะหลัง (%)	สมรรถนะการผลิต			อ้างอิง
		การกินได้ เฉลี่ย (กรัม/วัน)	อัตราการ เจริญเติบโต (กรัม/วัน)	อัตรา แลกเปลี่ยน อาหาร	
สุกรขุน	0	2,550	790	2.60	สุกัญญา ทิมทอง (2546)
	10	2,550	770	2.65	
	20	2,930	740	2.61	
	30	1,970	750	2.62	
	0	2,840	685	4.14	พรทิมล ตนสิงห์ (2551)
	20	2,790	668	4.20	
	40	2,780	666	4.21	
	60	2,840	685	4.14	

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

2.5 เชื้อรา *Rhizopus* sp.

2.5.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เชื้อรา *Rhizopus* เป็นเชื้อราในกลุ่มไซโกไมโคตินา (Zygomycotina) สร้างเส้นใยสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ สปอร์ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่า สปอร์แรงจีโอสปอร์ (sporangiospores) โดยมีทั้งรูปกลมและรี ทั้งผิวเรียบและผิวขรุขระ มีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม สปอร์แรงจีโอสปอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เพราะเกิดอยู่ภายในอับสปอร์ (sporangia) ส่วนสปอร์ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะเรียกว่า ไซโกสปอร์ (zygospore) (Deacon, 1997) เชื้อรา *Rhizopus* มีโครงสร้างผนังเซลล์ประกอบด้วยสารโคไโตซานและไคติน ที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์ ภายในเส้นใยไม่มีผนังกัน ดังนั้นภายในเส้นใยจะมีลักษณะเป็นท่อทะลุถึงกันหรือเป็นเซลล์ที่ยาวและมีหลายนิวเคลียส เพราะมีไซโตพลาสซึมต่อเนื่องกันและมีนิวเคลียสปะปนกันเรียกเส้นใยแบบนี้ว่า coenocytic hypha มีทั้ง สโตลอน (stolon) และไรซอยด์ (rhizoid) ก้านชูสปอร์ (sporangiophore) ยื่นชูออกจากข้อบริเวณไรซอยด์ ไม่แตกแขนง ส่วนปลายมีคอลูเมลลา (columella) และเป็นที่เกิดอับสปอร์ (sporangia) (Bilgrami et al., 1978)

เส้นใยของเชื้อรา *Rhizopus* มีการเจริญได้สองทิศทาง ตามแนวราบจะเจริญเติบโตเต็มที่แล้วหยุด ส่วนการเจริญตามแนวตั้งของเส้นใยจะขยายออกไปและแตกแขนงอย่างไม่จำกัด จนกว่าอาหารจะหมดและสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมจึงจะหยุดการเจริญเติบโต เส้นใยของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนที่ยึดเกาะกับอาหารเรียกว่า vegetative mycelium ทำหน้าที่ดูดสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ยื่นไปในอากาศ เรียกว่า aerial mycelium หรือ reproductive mycelium ทำหน้าที่สร้างสปอร์เพื่อการสืบพันธุ์ (Bilgrami et al.,

1978) ลักษณะโคโลนีเชื้อรา *Rhizopus* sp เมื่อเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีโคโลนีมีสีขาวฟู และเจริญเติบโตเร็ว คล้ายเชื้อราสกุล *Mucor* ต่างกันที่ *Rhizopus* มีสโตลอนและไรซอยด์ขณะที่ *Mucor* ไม่มี มักพบในดิน ผัก ผลไม้ที่กำลังย่อยสลาย อุจจาระสัตว์ ขนมปิ้งเก่าและลูกแบ่ง (วิลาวัลย์ เจริญจิตรตระกูล, 2539) มีบทบาทในการทำข้าวหมาก การแปรรูปอาหาร เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ (Mertens et al., 2006) สามารถการจำแนกชั้นทางชีววิทยาได้ดังนี้ (กิตติพันธุ์ เสมอพิทักษ์, 2546)

อาณาจักร: Fungi (Mycota)

ชั้น: Zygomycetes

อันดับ: Mucorales

วงศ์: Mucoraceae

สกุล: *Rhizopus*

2.5.2 วงจรชีวิตของ *Rhizopus* sp.

เชื้อรา *Rhizopus* sp. ส่วนใหญ่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ที่ปลายเส้นใย โดยสปอร์จะพองตัวเป็นกระเปาะจากนั้นจะเกิดผนังกันภายในและค่อย ๆ หนาขึ้นจนกลายเป็นอับสปอร์ (sporangium) ภายในอับสปอร์จะบรรจุนิวเคลียส และเกิดการแบ่งตัวหลาย ๆ ครั้ง โดยมีส่วนของโปรโตพลาสซึมและผนังหนามาห่อหุ้ม กลายเป็นสปอร์เรียกว่า sporangiospore เมื่ออับสปอร์แตก และพบสภาวะแวดล้อมเหมาะสมก็จะเจริญเป็นเส้นใยใหม่อีกครั้ง แต่บางครั้ง เชื้อรา *Rhizopus* ก็สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ เรียกว่า zygosporangium ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของนิวเคลียสโดยเส้นใยจะมาพบกันและสร้างผนังหนาขึ้นมาห่อหุ้มทำให้ zygosporangium ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี (Bilgrami et al., 1978)

2.5.3 ส่วนประกอบทางเคมีทั่วไปของเชื้อรา

เส้นใยของเชื้อรามีส่วนประกอบทางเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อคนและสัตว์ โดยเส้นใยของเชื้อราจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 16 - 84 โปรตีนร้อยละ 14 - 44 นอกจากนั้นยังประกอบด้วยไขมัน และเถ้าในปริมาณร้อยละ 0.2 - 87 และ 1 - 29 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณของโภชนะที่ประกอบในเส้นใยของราขึ้นกับ ชนิดของเชื้อราและแหล่งอาหารที่เชื้อราได้รับด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 2.13)

ตารางที่ 2.13 องค์ประกอบโภชนะในเชื้อรา

ส่วนประกอบ	น้ำหนักแห้ง (%)
คาร์โบไฮเดรต	16 - 84
โปรตีน	14 - 44
ไขมัน	0.2 - 87
เถ้า	1 - 29

ที่มา: กิตติพันธุ์ เสมอพิทักษ์ (2546)

2.5.4 ชนิดของเชื้อรา *Rhizopus* spp.

Domsch and Gams (1980) รายงานว่า เชื้อรา *Rhizopus* spp. สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

กลุ่ม *Rhizopus stolonifera* มีการแตกแขนงของรากมาก (rhizoids) ก้านชูสปอร์ (sporangiophores) มีความยาวระหว่าง 1 - 3 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร อับสปอร์ (sporangai) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 - 300 ไมครอนแต่เฉลี่ยประมาณ 250 - 275 ไมครอน และเส้นใยมีลักษณะเท่ากัน เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 33 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกิน 36 องศาเซลเซียส

กลุ่ม *Rhizopus oryzae* มีการแตกแขนงของราก (rhizoids) ปานกลาง ก้านชูสปอร์ (sporangiophores) มีความยาวระหว่าง 1-2.5 มิลลิเมตร อับสปอร์ (sporangai) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 160-240 ไมครอน เส้นใยมีลักษณะเท่ากัน เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 45 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อราที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำอาหารหมักและการผลิตกรดอินทรีย์รวมถึงเอนไซม์ในระดับอุตสาหกรรม

กลุ่ม *Rhizopus microsporus*-group มีการแตกแขนงของราก (rhizoids) น้อย ก้านชูสปอร์ (sporangiophores) มีความยาวระหว่าง 0.5 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร อับสปอร์ (sporangai) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 ไมครอน เส้นใยมีลักษณะเท่ากัน เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงสุดมากกว่า 45 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อราที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำอาหารหมัก (ตารางที่ 2.14)

ตารางที่ 2.14 เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Rhizopus* group

ลักษณะที่ศึกษา	<i>Rhizopus stolonifer</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>	<i>Rhizopus microsporus</i>
อุณหภูมิสูงสุดในเจริญเติบโต, องศาเซลเซียส	<33	<45	>45
ความสูงของโคโลนีบนอาหารวุ้น, มิลลิเมตร	10	10	10
การแตกแขนงของราก (Rhizoid), แขนง	8 - 12	4 - 8	1 - 4
ความยาวของก้านสปอร์ (Sporangiophores), มิลลิเมตร	10 - 40	10 - 25	5 - 10
เส้นผ่านศูนย์กลางของอับสปอร์ (Sporangia), ไมครอน	250 - 275	50 - 200	90 - 100
ลักษณะพื้นผิวสปอร์	มีรอยขีด	มีรอยขีด	ไม่มีรอยขีด

ที่มา: Domsch and Gams (1980)

2.5.5 การเจริญเติบโตของเชื้อรา

การเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นการเจริญเติบโตทางปลายของเส้นใย (apical growth) แตกกิ่งก้าน (branch) ต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ โดยกิ่งก้านจะงอกจากเส้นใยในส่วนที่อยู่ด้านหลัง ถัดจากปลายคล้ายการแตกกิ่งของต้นสน การเจริญเติบโตแบ่งเป็น 6 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 (lag phase) เป็นระยะที่เชื้อรายังไม่เจริญเติบโต หรือเจริญเติบโตน้อยมาก เพราะเป็นระยะที่เชื้อรากำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

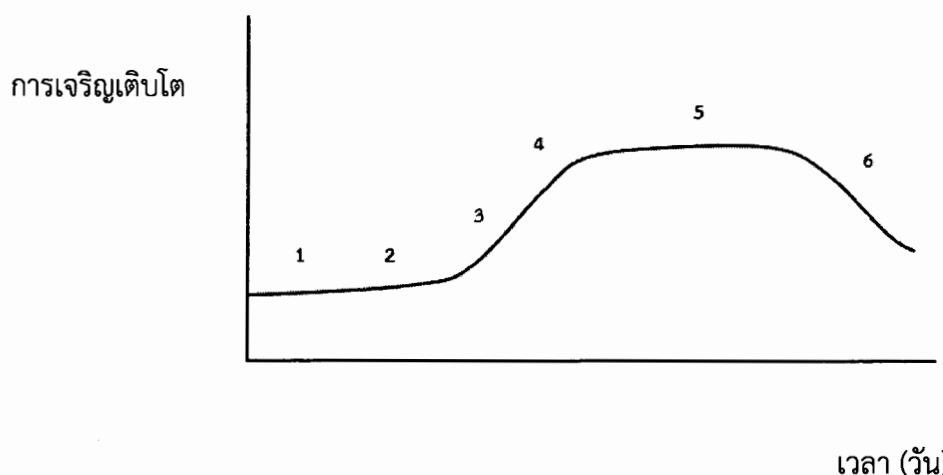
ระยะที่ 2 (acceleration phase) เชื้อราเริ่มมีการเจริญเติบโตในอัตราเร่ง

ระยะที่ 3 (exponential phase) เชื้อรามีการเจริญเติบโตมากที่สุดและอัตราเร่งในการเจริญเติบโตอย่างคงที่

ระยะที่ 4 (deceleration phase) เชื้อรามีอัตราเร่งในการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะที่ 3 เนื่องจากมีการตายหรือการสลายของเซลล์เกิดขึ้น

ระยะที่ 5 (stationary phase) เป็นระยะที่เชื้อรามีอัตราเร่งในการเจริญเติบโตและการตายของเซลล์เท่ากันอาจเนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อาหารเริ่มลดลง

ระยะที่ 6 (decline phase) เป็นระยะที่เชื้อรามีการย่อยสลายมากกว่าการเจริญเติบโต เช่น อาหารหมดไป การสะสมสารที่เชื้อราผลิตมีมากขึ้นซึ่งเป็นพิษต่อตัวมันเองทำให้ถูกย่อยสลายเร็วขึ้น มีลักษณะกราฟการเติบโตของเชื้อรา (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะของกราฟการเจริญเติบโตของเชื้อรา

1= lag phase, 2= acceleration phase, 3= exponential phase

4= deceleration phase, 5= stationary phase, 6= decline phase

ที่มา: กิตติพันธุ์ เสมอพิทักษ์ (2546)

2.5.6 แหล่งอาหารสำหรับเชื้อรา *Rhizopus* sp.

เชื้อรา *Rhizopus* sp. เหมือนกับเชื้อราชนิดอื่น ๆ ที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารเองได้ ดังนั้นจะต้องได้รับสารอาหารจากข้างนอกเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างชีวมวลของเส้นใย สารอาหารที่เชื้อรา *Rhizopus* sp. ต้องการในการเจริญเติบโตประกอบด้วย สารอาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน ซึ่งเป็นสารอาหารที่เชื้อราต้องการในปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารอาหารชนิดอื่น เช่น อาหารที่เป็นแหล่งแร่ธาตุและวิตามิน

2.5.6.1 แหล่งคาร์บอนเป็นสารอาหารประเภทคาร์บอนสำคัญอย่างมากในการสังเคราะห์เซลล์และสร้างพลังงานของเชื้อรา โดยเชื้อรา *Rhizopus* sp. จะใช้สารอาหารคาร์บอนประมาณร้อยละ 50 - 55 ในการสร้างเซลล์ และสารอาหารที่นิยมใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ได้แก่ วัตถุดิบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ เช่น เมล็ดข้าว ปลายข้าว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง นอกจากนั้นเชื้อรายังสามารถใช้ส่วนที่เป็นเยื่อใยในพืช เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เป็นแหล่งคาร์บอนอีกด้วย (สมจิตร อยู่เป็นสุข, 2552)

2.5.6.2 แหล่งไนโตรเจน เซลล์ของเชื้อรามีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักแห้ง แหล่งไนโตรเจนที่นิยมใช้โดยทั่วไปมีสองแหล่ง ได้แก่ ไนโตรเจนที่เป็นอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน โปรตีนและแหล่งไนโตรเจนที่เป็นอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย เกลือแอมโมเนีย และไนเตรท โดยเชื้อราจะใช้ไนโตรเจนในการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์โดยเฉพาะกรดอะมิโน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโปรตีนที่จำเป็นในกิจกรรมของเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนั้นไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบของ พิวรีน (purine) ไพริมิดีน (pyrimidine) วัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนโดยทั่วไป ได้แก่ ถั่วเหลือง กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากปลา นมผง หางนม คาเชอีนไฮโดรไลเซต และยีสต์สกัด (Yeast extract) (สุพจน์ ไข่เทียมวงศ์, 2530)

2.5.6.3. แร่ธาตุ เชื้อรา *Rhizopus* sp. ต้องการแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต ซึ่งตามปกติต้องได้เติมในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยเฉพาะในการทดสอบการผลิตเอนไซม์ของเชื้อรา แร่ธาตุส่วนมากที่เชื้อราต้องการ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และคลอรีน นอกจากนั้น ยังมีแร่ธาตุที่มีความจำเป็นแก่เชื้อรา แต่ต้องการในปริมาณที่น้อย เช่น ธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และโมลิบดีนัม ซึ่งโดยทั่วไปในวัตถุดิบ เช่น กากน้ำตาล แป้งต่าง ๆ และวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม จะมีแร่ธาตุที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราอยู่แล้ว ดังนั้น เราอาจพบเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่เจริญเติบโตได้เองในอาหารที่เป็นแป้ง (สมจิตร์ อยู่เป็นสุข, 2552)

2.5.6.4. วิตามิน เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา เชื้อราบางชนิดต้องเติมวิตามินในอาหารเลี้ยงและวิตามินที่เติม ได้แก่ ไทอามิน ไรโบเฟลวิน ไบโอติน และกรดนิโคตินิค แต่สำหรับเชื้อรา *Rhizopus* sp. สามารถสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นในการเจริญเติบโตได้เองจากแหล่งคาร์บอนและสารประกอบอินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบ (Garuba et al., 2012)

2.5.7 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Rhizopus* sp.

2.5.7.1 อุณหภูมิ เชื้อรา *Rhizopus* sp. สามารถเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิสูงสุดถึง 45 องศาเซลเซียส แต่ช่วงที่เหมาะสมคือ 25 - 32 องศาเซลเซียส (Sparringa et al., 2002) จึงเป็นเชื้อราชนิดหนึ่งที่มีบทบาทในกระบวนการหมักกากแป้งมันสำปะหลังแบบกึ่งของแข็งจะให้เกิดความร้อน ในกองหมักสูงโดยความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากกิจกรรมการเผาผลาญของจุลินทรีย์

2.5.7.2 ความชื้น มีความจำเป็นอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเพราะจะทำให้เชื้อราสามารถในการดูดซึมสารอาหารจากวัตถุ และความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา จะต้องการความชื้นระหว่างร้อยละ 60 - 75 ถ้าความชื้นต่ำจะกระตุ้นให้เชื้อราสร้างสปอร์ และความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เชื้อราเกิดการเจริญเติบโตช้าลง (โอโณทัย คมเสวต, 2535)

2.5.7.3 ความเป็นกรด - ด่าง (pH) เชื้อราสามารถเจริญเติบโตในสภาพความเป็นกรด - ด่าง กว้างกว่าแบคทีเรียเนื่องจากเชื้อราทนต่อแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ได้ดีกว่า โดยมีช่วงความเป็นกรดอยู่ในช่วงระหว่าง 2 - 9 แต่ช่วงที่เหมาะสมของเชื้อราส่วนมากคือ 4.5 - 5.0 (วิจิตรรักวิทยาศาสตร์, 2546)

2.6 การหมักแบบอาหารแข็ง

การหมักเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีประวัติการใช้มาเป็นเวลานานและยังนิยมใช้มาจนถึงปัจจุบันทั้งในระดับครัวเรือนจนถึงการหมักในระดับอุตสาหกรรม การหมักมีหลายประเภทโดยแบ่งตามความต้องการอากาศมีสองประเภทได้แก่ การหมักแบบใช้อากาศและการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (สุพจน์ ไข่เทียมวงศ์, 2530) เมื่อแบ่งตามความต้องการน้ำก็มีสองประเภทเช่นกันได้แก่ การหมักแบบอาหารเหลวซึ่งเป็นการหมักที่ใช้น้ำมากและการหมักแบบแห้ง ซึ่งเป็นการหมักที่ใช้น้ำในปริมาณน้อยหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งคือการหมักแบบอาหารแข็ง (Solid state fermentation) (Mienda et al., 2011)

การหมักแบบอาหารแข็งเป็นการหมักที่เชื้อจุลินทรีย์เจริญอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นของแข็งที่ปราศจากน้ำอิสระ แต่น้ำจะอยู่ในรูปของความชื้นที่ถูกดูดซับไว้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยมีความชื้นในอาหารประมาณร้อยละ 60 - 75 การหมักแบบอาหารแข็งสามารถทำได้ทั้งการหมักขนาดเล็ก และ

ระดับอุตสาหกรรม จุลินทรีย์ที่ใช้หมักส่วนมากนิยมใช้เชื้อรา เช่น *Aspergillus* sp. *Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น (Karmaka and Ray, 2001) การหมักแบบอาหารแข็งยังถูกนำมาใช้หมักวัตถุดิบเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และภาคการเกษตรเพื่อเพิ่มโภชนะ และนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะเป็นการหมักที่มีประสิทธิภาพสูง (Bhargav et al., 2008) ผลลัพธ์ที่ได้จากการหมักแบบนี้ ได้แก่ สารปฏิชีวนะ โปรตีน หรือเอนไซม์ เป็นต้น (Pandey et al., 1999) การหมักแบบอาหารแข็งสามารถทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนเพราะวัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเตรียมง่าย ราคาถูก มักใช้วัสดุทางการเกษตร เช่น รำข้าวสาลี เมล็ดธัญพืช มันสำปะหลัง เป็นต้น ทั้งประหยัดพลังงาน และลดปัญหาการบำบัดน้ำเสียหลังการหมักได้ดี ลงทุนต่ำ การควบคุมระบบไม่ยุ่งยาก และการปนเปื้อนแบคทีเรียต่ำ เพราะความชื้นต่ำและให้ผลผลิตเป็นปริมาณสารเข้มข้นสูง (Mienda et al., 2011)

2.7 การเพิ่มโภชนะของมันสำปะหลังและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการหมักแบบอาหารแข็ง

กากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมีโปรตีนต่ำและเยื่อใยที่สูงทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกรและไก่ แต่มีจุดเด่นคือส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งเหมาะสำหรับที่จะนำมาปรับโภชนะด้วยเทคนิคการหมักจุลินทรีย์เพราะในกากแป้งมันสำปะหลังมีกลุ่มของจุลินทรีย์อาศัยอยู่แล้ว จากการรายงานของ วราพันธ์ จินตณวิทย์ และคณะ (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์ในกองกากแป้งมันสำปะหลังที่เกิดการหมักโดยกระบวนการทางธรรมชาติเป็นเวลา 28 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 และ 28 วัน เพื่อตรวจปริมาณของแบคทีเรียผลิตกรดแลกติก ยีสต์ และการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดรวมถึงการวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน และเยื่อใยของกากแป้งมันสำปะหลัง พบว่า จำนวนของแบคทีเรียผลิตกรดแลกติกเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 - 14 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และลดลงในวันที่ 21 - 28 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นกัน ส่วนปริมาณยีสต์ เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และลดลงในวันที่ 3 - 28 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญก็ตามแต่พบว่า ปริมาณโปรตีนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณเยื่อใยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) และหมักถึงวันที่ 7 พบว่า มีสัดส่วนของเยื่อใยเพิ่มขึ้น และเพิ่มจนถึงวันที่ 28 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เปรียบเทียบกับการหมักในวันที่ 1 (ตารางที่ 2.15)

ตารางที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังที่เกิดการหมักแบบธรรมชาติ

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณ (log 10/g)		โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)
	แบคทีเรีย	ยีสต์		
0	6.12 ^e	4.97 ^d	1.71	14.66 ^{bc}
1	6.89 ^c	5.30 ^c	1.63	14.30 ^c
3	7.81 ^a	5.80 ^b	1.64	14.31 ^c
5	7.65 ^a	6.23 ^a	1.77	15.27 ^{ab}
7	7.68 ^a	6.17 ^a	1.78	15.42 ^a
14	7.27 ^b	5.23 ^c	1.81	15.07 ^{ab}
21	6.79 ^d	3.98 ^e	1.74	15.19 ^{ab}
28	5.83 ^f	3.88 ^e	1.77	15.20 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

ที่มา: วราพันธ์ จินตณวิชัย และคณะ (2549)

จากการผลการวิจัยที่กล่าวมาทำให้ทราบว่า กากแป้งมันสำปะหลังที่เกิดกระบวนการหมักโดยธรรมชาติ หรือไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ใด ๆ ลงไป จะไม่สามารถเพิ่มโปรตีนได้ แต่กลับทำให้สัดส่วนเยื่อใยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากมีปริมาณของแบคทีเรียผลิตกรดแลกติก รวมทั้งยีสต์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นการศึกษากากแป้งมันสำปะหลังโดยมีการเติมจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ลงไป โดย Oboh and Elusiyani (2007) ทำการศึกษากากแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *Rhizopus oryzae* และเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เปรียบเทียบกับแป้งมันที่ไม่หมักโดยนำเชื้อในปริมาณชนิดละ 0.5 กรัม ไปทำเป็นสารละลายในน้ำ 73 มิลลิลิตร และมีส่วนผสมของยูเรีย 8 กรัม นำไปหมักกับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ทำการหมักเป็นเวลา 3 วัน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบแป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักกับหมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* และเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* กลุ่มที่หมักมีโปรตีน ไขมัน และเถ้า เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าโปรตีนเท่ากับร้อยละ 6.40, 10.50 และ 12.60 ตามลำดับ ไขมันเท่ากับร้อยละ 2.90, 7.40 และ 8.00 ตามลำดับ เถ้าเท่ากับร้อยละ 1.40, 2.60 และ 2.50 ส่วนเยื่อใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.80, 1.90 และ 2.10 ตามลำดับ ทำนองเดียวกัน ทรงศักดิ์ จำปาหวี และคณะ (2555) ศึกษาการปรับโภชนะของมันสำปะหลังหมักด้วยจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ *R. oryzae*, *L. acidophilus* และ *S. cerevisiae* ที่มีความเข้มข้นของเชื้อ 1×10^8 ปริมาณ 50 มิลลิลิตร หมักกับมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน พบว่า มันสำปะหลังหมักมีโภชนะเพิ่มขึ้นโดยมีโปรตีนที่ร้อยละ 6.30, 5.50 และ 7.60 ตามลำดับ เยื่อใยร้อยละ 2.30, 2.60 และ 2.60 ตามลำดับ และมีสัดส่วนของเถ้าร้อยละ 6.60, 6.50 และ 6.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.16)

นอกจากนี้ยังมีรายงานการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ผสม 3 ชนิดโดย จริญญา เจตนจิตร และ จริญญา คำนวนตา (2530) ได้หมักมันเส้นที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดน้ำแข็งโดยขึ้นมันมีชนิด 1 - 2 ลูกบาศก์

เซนติเมตร. กับเชื้อ *Aspergillus niger* ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 3 วัน แล้วเติมเชื้อผสม *S. cerevisiae* และ *Candida* sp. ในอัตราร้อยละ 5 ปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 50 - 60 หมักต่อไปอีก 2 วัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ พบว่า มันสำปะหลังมีโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.68 นอกจากนี้แล้ว รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และ อุทัย คั่นโธ (2529) ทำการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อราผสมระหว่าง *A. niger* และ *S. cerevisiae* เป็นเวลา 5 วัน พบว่า มันสำปะหลังมีโปรตีน เยื่อใย เถ้า ไขมัน ร้อยละ 9.50, 5.65, 8.76 และ 2.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.16)

ตารางที่ 2.16 ผลของการเติมเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักมันสำปะหลัง

ชนิดจุลินทรีย์	โภชนะ (ร้อยละ)			อ้างอิง
	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	
ไม่เติมเชื้อ/ไม่หมัก	6.40 ^c	3.80 ^a	1.40 ^b	
<i>Rhizopus oryzae</i>	10.50 ^b	1.90 ^b	2.60 ^a	Oboh and Elusiyan (2007)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	12.60 ^a	2.10 ^b	2.50 ^a	
<i>Rhizopus oryzae</i>	6.30	2.30	6.60	ทรงศักดิ์ จำปาวัติ และคณะ (2555)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	5.50	2.30	6.50	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7.60	2.60	6.80	
<i>Aspergillus niger</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> + <i>Candida</i> sp.	9.68	-	-	จรัญ เจตนะจิตร และ จรรยา คำนวนตา (2530)
<i>Aspergillus niger</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	9.50	5.65	8.76	รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และอุทัย คั่นโธ (2529)

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

จากข้อมูลในตารางที่ 2.15 จะพบว่า การหมักมันสำปะหลังที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ สามารถเพิ่มโปรตีนของมันสำปะหลังได้ อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อที่มากกว่า 1 ชนิดไม่ทำให้โปรตีนเพิ่มสูงกว่าการใช้เชื้อเพียงชนิดเดียว อีกทั้งยังเพิ่มขึ้นตอนในการหมักซึ่งทำให้ยุ่งยากและสิ้นเปลืองด้วย นอกจากนี้มันสำปะหลัง หรือผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังสามารถหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังมีวัตถุดิบอื่นที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตเช่นเปลือกส้ม จากโรงงานแปรรูปน้ำผลไม้ โดย Hamdy (2013) ทำการทดลองผลิตโปรตีนเซลล์เดียว (single-cell protein, SCP) ด้วยเชื้อรา *A. niger*, *R. oryzae* และ *S. cerevisiae* ที่เจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมจากเปลือกส้มอายุ 7 วัน มาทำเป็นสารละลายสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สำหรับของเชื้อรา *A. niger* และ *R. oryzae* และ 0.5×10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สำหรับ *S. cerevisiae* ในสารละลายที่มีส่วนผสมของยูเรียในอัตราร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 จากนั้นนำไปหมักร่วมกับเปลือกส้มในอัตราเปลือกส้ม 25 กรัมต่อสารละลายสปอร์ 1 มิลลิลิตร ควบคุมความชื้นระหว่างร้อยละ 50 - 70 ทำการหมักแบบอาหารแข็ง

(solid state fermentation, SSF) เป็นเวลา 7 วัน พบว่า เชื้อราที่ใช้หมักด้วย *A. niger*, *R. oryzae* และ *S. cerevisiae* และใช้ยูเรียในอัตราร้อยละ 0.3 ทำให้เชื้อราสืมีโปรตีนสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 26.19, 22.00 และ 25.18 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.17)

ตารางที่ 2.17 การเพิ่มโภชนะของเชื้อราด้วย *Aspergillus niger* *Rhizopus oryzae* และ *Saccharomyces cerevisiae*

ระดับยูเรีย (%)	ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม โดยวัตถุแห้ง)		
	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
0.1	21.33 ^c	15.40 ^c	20.59 ^c
0.2	22.41 ^{bc}	19.36 ^b	23.20 ^b
0.3	26.19 ^a	22.00 ^a	25.81 ^a
0.4	27.00 ^a	22.00 ^a	26.39 ^a
0.5	27.00 ^a	22.00 ^a	26.39 ^a

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

ที่มา: Hamdy (2013)

นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการใช้เชื้อราในกลุ่มของ *Rhizopus* ปรับโภชนะในวัตถุดิบอื่นด้วย โดย Vig and Walia. (2001) รายงานการเปลี่ยนแปลงของเยื่อใยในเมล็ดเลฟส์ (Rape seed) หมักด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* เป็นเวลา 10 วัน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเยื่อใยในวันที่ 1, 2, 5, 8 และ 10 ของการหมัก พบว่า ปริมาณเยื่อใยมีสัดส่วนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยลดลงจากร้อยละ 12.50 เหลือร้อยละ 9.30 ในการหมักที่ 5 วัน (ตารางที่ 2.18)

ตารางที่ 2.18 การเพิ่มโภชนะของเมล็ดเลฟส์ด้วยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus*

โภชนะ (ร้อยละ)	ไม่หมัก	เวลาในการหมัก (วัน)				
		1	2	3	4	5
โปรตีน	27.10 ^a	30.20 ^b	33.30 ^c	36.30 ^d	39.90 ^e	44.80 ^f
เยื่อใย	12.50 ^a	11.21 ^b	11.20 ^{bc}	10.50 ^d	9.80 ^e	9.30 ^f
ฟอสฟอรัส	10.30 ^a	10.50 ^b	10.70 ^c	10.80 ^{cd}	10.8 ^{cd}	10.8 ^{cd}

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

ที่มา: Vig and Walia. (2001)

2.8 การใช้มันสำปะหลังและกากแป้งมันสำปะหลังหมักจุลินทรีย์เป็นอาหารสุกร

สินชัย พารักษา และ นวลจันทร์ แซ่อั่ว (2530) ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp. และเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ทดแทนปลายข้าวในอาหารสุกรรุ่นน้ำหนักเริ่มต้น 25 กิโลกรัมจนถึงน้ำหนักส่งตลาด โดยใช้มันสำปะหลังหมักในอัตราร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 มีสัดส่วนของโปรตีนในอาหารร้อยละ 16 ใช้เวลาในการทดลองระยะรุ่น 8 สัปดาห์ พบว่า สุกรรุ่นกลุ่มที่ได้รับอาหารมันสำปะหลังหมักในอัตราร้อยละ 0, 20 และ 40 มีสมรรถนะการผลิตลดลง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นสุกรรุ่นกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ผสมมันสำปะหลังหมักร้อยละ 60 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนอัตราการกินได้และอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในสุกรขุน ใช้อาหารผสมมันสำปะหลังหมักในอัตราร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โปรตีนในสูตรอาหารร้อยละ 14 ใช้เวลาในการทดลองระยะขุน 6 สัปดาห์ โดยใช้สุกรชุดเดิม พบว่า เมื่อเพิ่มระดับมันสำปะหลังหมักเชื้อราเป็นร้อยละ 40 และ 60 สุกรขุนมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนอัตราการกินได้และอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) จะเห็นได้ว่าสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Aspergillus* sp. และเชื้อยีสต์ *S.cerevisiae* ในอาหารทำให้สุกรมีสมรรถนะการผลิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับมันสำปะหลังในอาหารเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.19)

ตารางที่ 2.19 ผลการใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Aspergillus* sp. และยีสต์ในสุกรรุ่น-ขุน

ลักษณะที่ศึกษา	ปริมาณมันสำปะหลังหมักในอาหาร			
	0%	20%	40%	60%
จำนวนสุกรทดลอง (ตัว)	6	6	6	6
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	25.96	35.8	26.5	25.4
น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	95.77	93.23	94.93	87.13
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	98	98	98	98
น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กิโลกรัม)	69.81	67.43	68.43	61.77
ระยะรุ่น				
ADG (กรัมต่อวัน)	705.00 ^a	653.00 ^a	661.00 ^a	566.00 ^b
อาหารที่กินทั้งหมดต่อตัว (กิโลกรัม)	117.75	109.90	109.45	101.92
FCR	2.99	3.01	2.99	3.20
ระยะขุน				
ADG (กรัมต่อวัน)	758.00 ^a	748.00 ^a	633.00 ^b	630.00 ^b
อาหารที่กินทั้งหมดต่อตัว (กิโลกรัม)	105.39	108.83	117.92	102.13
FCR	3.33	3.54	3.77	3.73

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ใในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา: สินชัย พารักษา และ นวลจันทร์ แซ่อั่ว (2530)

ในขณะที่การใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารสุกรเล็กโดย Huu and Terdsak (2014) ศึกษาผลของมันสำปะหลังหมักเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหาร ต่อการย่อย โภชนะ และการเก็บรักษาไนโตรเจนในร่างกายในสุกรเพศผู้ (แลนด์เรซ x แแลนด์เรซ x ลาจไวน์) จำนวน 15 ตัว น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 5.98 ± 0.15 กิโลกรัม ถูกขังเดี่ยวในกรงทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ ในอัตรา ร้อยละ 0, 3, 6, 9 และ 12 โดยกากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์มีโปรตีน เยื่อใยและไขมัน ร้อยละ 13.4, 17.1 และ 2.11 ตามลำดับ และพลังงานทั้งหมดที่ 4,208 กิโลแคลอรี พบว่า การย่อยได้ของ วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใยและพลังงาน ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้น ไขมันที่ ละลายในอีเทอร์ มีค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์มากกว่าร้อยละ 3 และ การใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ที่ร้อยละ 12 ทำให้ค่าการย่อยได้ของไนโตรเจน และเก็บรักษา ไนโตรเจนในร่างกายมากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสุกรทดลองแต่อย่างใด โดยผู้ทดลองสรุปว่า การใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ในอาหารสุกรหลังหย่านมสามารถใช้ได้ถึงร้อยละ 12 (ตารางที่ 2.20)

ตารางที่ 2.20 การย่อยได้ปรากฏของอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ในลูกสุกรเล็ก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ (ร้อยละ)				
	0	3	6	9	12
ปริมาณการกินได้ (กรัม/วัน)	440.00	430.00	430.00	446.00	443.00
ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (กรัม/วัน)	389.00	366.00	350.00	371.00	360.00
ถ่ายมูลสด (กรัม/วัน)	159.00	146.00	128.00	171.00	189.00
มูลแห้ง (กรัม/วัน)	58.00	56.00	50.00	56.00	50.00
วัตถุแห้ง (ร้อยละ)	85.00	84.50	85.60	85.00	86.10
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	86.70	86.30	87.50	86.40	87.50
โปรตีน (ร้อยละ)	84.10	83.00	84.40	82.70	84.90
พลังงานทั้งหมด (ร้อยละ)	85.50	85.30	86.30	84.80	86.30
เยื่อใย (ร้อยละ)	57.30	58.70	67.90	67.80	69.90
ไขมัน (ร้อยละ)	67.00 ^a	68.10 ^a	79.80 ^b	77.40 ^{ab}	81.80 ^b

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา: Huu and Terdsak (2014)

2.9 การใช้วัสดุเหลือทิ้งหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus* sp. เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดียว

Dana Michael (2014) ทดลองใช้กากเอทานอลจากข้าวโพดหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus microsporus* ผสมในอาหารร้อยละ 0, 10 และ 20 ทดสอบสมรรถนะการผลิตของสุกรเล็กน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการทดสอบ 4 สัปดาห์ พบว่า สุกรเล็กมีสมรรถนะการผลิต ได้แก่ การกินได้ต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต และอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสุกรมีค่าอัตราการกินได้เท่ากับ 640, 650 และ 650 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 390, 400 และ 390 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และมีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 0.62, 0.62 และ 0.60 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.21)

ตารางที่ 2.21 ผลของกากเอทานอลจากข้าวโพดหมักเชื้อรา *Rhizopus microsporus* ต่อสมรรถนะการผลิตของสุกรเล็ก

สมรรถนะ	กากเอทานอลจากข้าวโพดหมักเชื้อรา			SEM	P-value
	<i>Rhizopus microsporus</i> (%)				
	0	10	20		
การกินได้ (กรัมต่อวัน)	640	650	650	0.06	0.94
การเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	390	400	390	0.03	0.97
อัตราแลกเปลี่ยนอาหาร	1.64	1.62	1.66	0.13	0.55

ที่มา: Dana Michael (2014)

นอกจากนี้แล้ว ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี และคณะ (2555) ทดลองใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae*, *Lactobacillus acidophilus* และ *S. cerevisiae* โดยผสมในอาหารที่ร้อยละ 5 ทำการเลี้ยงนกกกระทุงอายุ 4 วัน จำนวน 192 ตัว เป็นเวลา 30 วัน ต่อสมรรถนะการผลิตของนกกกระทุงที่ขุนพบว่า สมรรถนะการผลิตของนกกกระทุงที่ขุน ได้แก่ อัตราการกินได้เฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 14.10, 12.80, 13.40 และ 13.40 กรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่นกกกระทุงที่ขุนที่รับอาหารผสมมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.90 กรัมต่อวัน ซึ่งลดลงเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่นกกกระทุงที่ขุนที่กลุ่มอื่นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวพบว่า นกกกระทุงที่ขุนทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้น กลุ่มที่ได้รับ อาหารผสมมันสำปะหลังหมัก *Lactobacillus acidophilus* และกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* มีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แสดงใน ตารางที่ 2.22

ตารางที่ 2.22 ผลของน้ำมันรำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อสมรรถนะการผลิตของนกกกระทาญี่ปุ่นและคุณภาพซาก

สมรรถนะ	น้ำมันรำปะหลังหมัก ร้อยละ 5				SEM	P-value
	ควบคุม	R	L	S		
การกินได้ (กรัมต่อวัน)	14.10	12.80	13.40	13.40	0.20	0.94
การเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	4.30 ^a	3.90 ^b	4.50 ^a	4.40 ^a	0.03	0.03
อัตราแลกเปลี่ยนอาหาร	3.27 ^{ab}	3.28 ^{ab}	2.97 ^a	3.04 ^b	0.10	0.02
ซาก (%)	76.10	77.30	75.70	74.20	0.40	-

หมายเหตุ: ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

(R) *Rhizopus oryzae*

(L) *Lactobacillus acidophilus*

(S) *Saccharomyces cerevisiae*

ที่มา: ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี และคณะ (2555)

อย่างไรก็ตามจากการรายงานข้างต้นแสดงให้เห็นว่าน้ำมันรำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus microspores* และ *R. oryzae* ก็ยังสามารถนำมาผสมในอาหารและเลี้ยงสัตว์ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตในสัตว์บางกลุ่มโดยเฉพาะสุกร แต่การใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ในอาหารห่านนกกกระทาญี่ปุ่นแม้จะมีสมรรถนะการผลิตที่ดีอยู่แต่คุณภาพซากก็นับว่าอยู่ในระดับที่ดี อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังหมักต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้ให้เหมาะสมกับสัตว์แต่ละชนิดแต่ละช่วงอายุของการผลิตด้วย

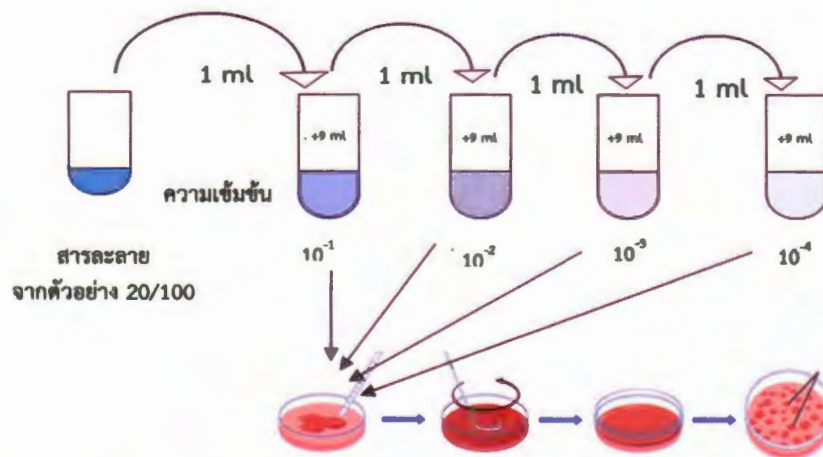
บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา *Rhizopus* sp.

3.1.1 การเก็บรวบรวม และการแยกเชื้อรา *Rhizopus* sp.

ทำการแยกเชื้อรา *Rhizopus* sp. จากตัวอย่างดินที่เก็บจาก อำเภอบาเจียง อำเภอบปากซ่อง ลูกแป้งเหล้าขาวจากประเทศเวียดนาม และลูกแป้งสาโทจากแขวงจำปาสัก สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป ลาว) รวมทั้งสิ้นจำนวน 20 ตัวอย่าง ด้วยวิธี dilution plating technique บนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) โดยผึ่งตัวอย่างในที่ร่มให้แห้ง บดให้ละเอียด สุ่มตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิตร นำไปกวนด้วยเครื่องปั่นผสม (magnetic stirrer) ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเข้ากันดีกับน้ำ ทำการเจือจางตัวอย่างแขวนลอยให้ได้ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} และ 10^{-4} นำตัวอย่างแขวนลอยแต่ละระดับความเข้มข้นในปริมาณ 1 มิลลิตร ไปแยกเชื้อบริสุทธิ์ด้วยวิธี Spread plate technique (ภาพที่ 3.1) นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มในที่มืด สภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ตามวิธีของ กนกวรรณ ปวงคำ (2547) โดยการดูลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) และคัดเฉพาะโคโลนีเชื้อรา *Rhizopus* sp. เลี้ยงให้ได้เชื้อบริสุทธิ์บนอาหาร PDA สำหรับนำไปทดสอบขั้นต่อไปโดยใส่รหัสไอโซเลทเชื้อราเป็นอักษร 3 ตัว และตัวเลขเพื่อบอกถึงชนิดเชื้อ แหล่งที่เก็บ และลำดับไอโซเลท



ภาพที่ 3.1 การแยกเชื้อรา *Rhizopus* sp. โดยวิธีการ dilution plating technique
ที่มา: กนกวรรณ ปวงคำ (2547)

3.1.2 การคัดเลือกเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา Mandels agar ซึ่งมีสาร Carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นส่วนประกอบ (ภาคผนวก ก) จากนั้นนำเชื้อรา *Rhizopus* sp. บริสุทธิ์ทุกไอโซเลทที่แยกได้จาก ข้อ 3.1.1 นำมาเลี้ยงในอาหารดังกล่าวด้วยเทคนิคหลอดเชื้อ โดยใช้เข็มเขี่ยเชื้อเกี่ยวเอาเฉพาะสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Mandel agar จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อราทุกไอโซเลททุกวัน คัดเลือกไอโซเลทเชื้อราที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดบนอาหาร Mandels agar จำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ RHB01 RHB02 และ RHS03 นำมาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ด้วยวิธี spot inoculation บนอาหาร Carboxymethyl Cellulose (CMC) agar ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 5.5 เปรียบเทียบกับเชื้อรา *Rhizopus* sp. RHB01 ที่ไม่สามารถเจริญได้บนอาหาร Mandels agar วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) มี 4 สิ่งทดลอง ๗ ละ 5 ซ้ำ ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1	เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHB01 (กลุ่มควบคุม)
สิ่งทดลองที่ 2	เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHB01
สิ่งทดลองที่ 3	เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHB02
สิ่งทดลองที่ 4	เชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03

โดยนำเชื้อรา *Rhizopus* sp. บริสุทธิ์ทั้ง 4 ไอโซเลทมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของ CMC agar จากนั้นย้ายชิ้นวุ้นเชื้อราขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ซึ่งเจริญในอาหาร Mandels agar เป็นเวลา 7 วัน วางตรงกลางจานอาหาร CMC agar นำจานทดสอบไปบ่มในตู้บ่มเชื้อภายใต้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน ตรวจกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส โดยนำจานทดสอบย้อมด้วยสารละลาย congo red ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 5 มิลลิตร เททับเส้นใยเชื้อราที่อยู่ในจานทดสอบทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเทออก ล้างด้วยสารละลาย sodium chloride (NaCl) ความเข้มข้น 1 N โดยเททับจนท่วมเส้นใยเชื้อรานั้น 15 นาที แล้วเทออก สังเกตบริเวณส่วนใสที่เกิดขึ้น วัดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนใส และเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อราโดยใช้หน่วยเป็น มิลลิเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหากิจกรรมเอนไซม์ หรือค่า hydrolysis capacity value (HC value) ตามวิธี ของ Lu et al. (2005) ดังสมการ จากนั้นคัดเลือกไอโซเลทที่มีค่า HC value หรือค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด นำไปจำแนก และทดสอบในขั้นต่อไป

$$\text{HC value} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนใสรอบโคโลนี (mm)}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี (mm)}}$$

3.1.3 จำแนกชนิดเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงสุดโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

การจำแนกชนิดเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเชื้อราบนแผ่นสไลด์ (slide culture) โดยตรวจสอบลักษณะของราก (rhizoids) ความยาวก้านสปอร์ (sporangiophores) ความกว้างอับสปอร์ (sporangia) ลักษณะรูปร่างสปอร์ (sporangiospores) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทดสอบอุณหภูมิสูงสุดที่เชื้อสามารถเจริญเติบโตได้เนื่องจากเชื้อรา *Rhizopus* sp. แต่ละชนิดทนต่อความร้อนได้แตกต่างกัน โดยนำสปอร์ของเชื้อราไปเลี้ยงบนอาหาร PDA จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 45 และ 50 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นนำข้อมูลลักษณะต่างๆ ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับรายงานของ Domsch and Gams (1980) เพื่อระบุชนิดของเชื้อรา *Rhizopus*

3.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp.

3.2.1 การผลิตผงเชื้อ *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03 ในข้าว

นำเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 ที่มีค่า HC value มากที่สุดไปเลี้ยงบนอาหาร PDA นาน 5 วัน เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 7 มิลลิลิตร ต่อจาน ใช้แท่งแก้วปลอดเชื้อกวาดสปอร์บนผิวหน้าอาหารวันเบาๆ เก็บรวบรวมสปอร์แขวนลอยและปรับให้มีความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ ต่อ มิลลิลิตร โดยใช้ Hemacytometer จากนั้นนำไปเลี้ยงในข้าวตามวิธีการของ จริญญา นัทรมานพ และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ (2546) โดยนำข้าวสารหุงให้มีลักษณะกึ่งสุกกึ่งดิบบรรจุในถุงพลาสติกทนร้อนน้ำหนัก 100 กรัม เติมสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่มีความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ต่อ มิลลิลิตร ในปริมาตร 2 มิลลิลิตรต่อถุง นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และนำเชื้อราออกจากถุงแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน บดเป็นผงให้ละเอียด และตรวจจำนวนสปอร์ต่อผงเชื้อรา 1 กรัม ด้วย Hemacytometer

3.2.2 การผลิตเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 ด้วยกากแป้งมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ

นำผงเชื้อราจากข้อ 3.2.1 ไปหมักกับกากแป้งมันสำปะหลังแห้งเพื่อผลิตเป็นหัวเชื้อราหมักกากแป้งมันสำปะหลังตามวิธีการของ Phong et al. (2003) โดยนำผงเชื้อรา 1 ส่วนหมักกับกากแป้งมันสำปะหลังแห้ง 10 ส่วน (1:10) ในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ปรับความชื้นในกองหมักประมาณร้อยละ 60 ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น คลุกเคล้าให้เข้ากันบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วันเพื่อให้เชื้อราเจริญเติบโต จากนั้นทำการกลับกองเพื่อระบายความร้อนและเพิ่มอากาศปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 60 และบ่มที่อุณหภูมิห้องต่อจนครบ 7 วัน ในระหว่างนี้กลับกองทุก 2 วัน ซึ่งเรียกกากแป้งมันสำปะหลังแห้งที่หมักเชื้อรานี้ว่า “หัวเชื้อราหมักกากแป้งมันสำปะหลัง” จากนั้นสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์โปรตีน ปริมาณเยื่อใย และตรวจนับปริมาณสปอร์ วัสดุที่ผ่านการหมัก 1 กรัม

3.2.3 การปรับโภชนะกากแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03

นำกากแป้งมันสำปะหลังแห้งมาหมักร่วมกับหัวเชื้อราที่เตรียมจากกากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) ตามวิธีของ Phong et al. (2003) โดย

นำหัวเชื้อรา *Rhizopus* sp. จากข้อ 3.2.2 ในปริมาณ 10 กิโลกรัม และกากแป้งมันสำปะหลังแห้ง 100 กิโลกรัม (1:10) คลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นที่ร้อยละ 60 ทำเป็นกองสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง x ยาว x สูง (100 x 150 x 30 เซนติเมตร) จากนั้นคลุมด้วยกระสอบป่านที่ชุบน้ำพอมหาดๆ ปลอบไว้ 2 วัน ทำการกลับกอง และรักษาความชื้นให้เท่าเดิมแล้วคลุมไว้เหมือนเดิม หมักต่อจนครบ 5 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าโภชนะด้วยวิธีประมาณ (Proximate analysis) เพื่อหาสัดส่วนของ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียมและฟอสฟอรัส ตามวิธีของ Association of Official Agricultural Chemists (A.O.A.C., 1990) หาค่าพลังงานตามวิธีการของ Kong and Adeola (2014) ด้วยเครื่อง bomb calorimeter

3.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร

3.3.1 การดำเนินการทดลอง

การทดสอบการย่อยได้ใช้สุกรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ซึ่งเป็นสุกรที่นิยมเลี้ยงใน สปป. ลาว เนื่องจากให้ลูกดก ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของลาวได้เป็นอย่างดี เพื่อศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีส่วนผสมของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยนำกากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักไปผสมอาหารให้ได้โปรตีนร้อยละ 17 พลังงานย่อยได้ 3,300 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร ตามการแนะนำของกรมปศุสัตว์ (2544) (ตารางที่ 3.1) โดยใช้สุกรเพศผู้ ตอน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 20 กิโลกรัม (ตามข้อกำหนดสุกรรุ่นของ NRC, 1998) วางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Latin square design ซึ่งสุกรบนกรงขังเดี่ยว ซึ่งมีภาชนะรองรับมูลและปัสสาวะให้อาหารสุกร วันละ 2 เวลา คือ 08.00 และ 16.00 นาฬิกา. ให้สุกรกินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการทดลองเป็นเวลา 10 วันต่อกลุ่มการทดลอง โดยแบ่งเป็นช่วงปรับตัว 7 วัน และเก็บข้อมูล เป็นเวลา 3 วัน

3.3.2 การเก็บมูลสุกร

ทำการเก็บมูลสุกรแต่ละตัว โดยเก็บวันละ 2 ครั้ง (เวลา 9.00 และ 24.00 นาฬิกา) โดยบันทึกน้ำหนักมูลที่เก็บทุกครั้งนำมูลที่เก็บแต่ละครั้งใส่ถุงพลาสติกมัดปากให้แน่นจากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บมูลครบ 1 วัน นำมูลทั้งหมดมารวมกันบันทึกเป็นน้ำหนักมูลต่อวัน เมื่อเสร็จการทดลองในแต่ละช่วง นำมูลที่เก็บได้ทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกรอบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน บดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร และนำมูลที่บดเสร็จไปผสมให้เข้ากันอีกครั้ง สุ่มเก็บตัวอย่างมูล 200 กรัม บรรจุในกระปุกพลาสติก ปิดฝาให้แน่น เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์โภชนะในมูลต่อไปด้วยวิธี proximate analysis ตามวิธีการของ (A.O.A.C., 1990) และพลังงานด้วย bomb calorimeter ตามวิธีของ Kong and Adeola (2014)

3.3.3 การเก็บปัสสาวะสุกร

ใช้ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร รองรับปัสสาวะภายในถังบรรจุกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 25 มิลลิลิตร. ปิดผาถังด้วยผ้าขาวบางเพื่อป้องกันแมลง เก็บปัสสาวะในเวลา 9:00 นาฬิกา ทำการวัดปริมาณ และจดบันทึก จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 4,000

มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาณ สุ่มตัวอย่างปัสสาวะ 400 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะปิดฝาให้แน่น นำไปแช่แข็ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำปัสสาวะของสุกรตัวเดียวกันมารวมกัน ผสมให้เข้ากันดีแล้วสุ่มเก็บตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร ใส่ภาชนะปิดฝาให้แน่นเก็บในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

3.3.4 การวิเคราะห์ทางเคมี และการคำนวณ

วิเคราะห์หาค่าโปรตีน ไขมัน ความชื้น ในอาหาร และในมูล ตามวิธีการของ A.O.A.C (1990) ส่วนการวิเคราะห์หาพลังงานรวมในอาหารและในมูล ใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (bomb calorimeter) ตามวิธีของ Kong and Adeola (2014) นำมูลที่ได้คำนวณหาปริมาณค่าการย่อยได้ โดยประมาณ (Apparent digestibility) ของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย ค่าพลังงานย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานย่อยได้ ตามตามสมการต่อไปนี้

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = 100 \times \frac{(\text{โภชนะที่กินทั้งหมด (g)} - \text{โภชนะในมูล (g)})}{\text{โภชนะที่กินทั้งหมด (g)}}$$

$$\text{พลังงานย่อยได้ (kcal/kg)} = \text{พลังงานที่กินทั้งหมด (kcal)} - \text{พลังงานในมูล (kcal)}$$

$$\text{พลังงานใช้ประโยชน์ได้} = \text{พลังงานที่กินทั้งหมด (kcal)} - \text{พลังงานในมูล (kcal)} - \text{พลังงานในปัสสาวะ (kcal)}$$

(kcal/kg)

แบบจำลองด้านคณิตศาสตร์ของงานทดลอง

$$Y_{ij(k)} = \mu + R_i + C_j + T_k + \epsilon_{ij(k)}$$

$Y_{ij(k)}$ = ค่าสังเกตจาก treatment ที่ i block ที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยประชากร

R_i = อิทธิพลเนื่องจากแถวที่ i (i ความแตกต่างของสัตว์ทดลอง)

C_j = อิทธิพลเนื่องจาก คอลัมน์ ที่ j (j ช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล)

T_k = อิทธิพลจากระดับกากแบ่งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40

$\epsilon_{ij(k)}$ = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ

3.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหาร

3.4.1 การดำเนินการทดลอง

ใช้สุกรรุ่นสามสายพันธุ์ (เป๊ยกเรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนักตัวเริ่มต้น 19.77 ± 0.28 กิโลกรัม (ตามข้อกำหนดสุกรรุ่นของ NRC, 1998) จำนวน 40 ตัว (เพศผู้ 20 และเพศเมีย 20 ตัว) ใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 (ตารางที่ 3.1) วางแผนทดลองแบบสุ่มในบล็อกแบบสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยจัดแบ่งสุกรเป็นบล็อกตามสภาพคอกทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในด้านโรงเรือนและคอกของฟาร์มที่ใช้ทำการทดลองใน สปป. ลาว โดยโรงเรือนที่ใช้มีพื้นคอกที่มีความลาดเอียงที่ไม่เท่ากันส่งผลให้คอกมีความชื้นและไม่เท่ากัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของสุกรได้ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำโดยในแต่ละหน่วยทดลองใช้สุกร 2 ตัว (เพศละ 1 ตัว) ขังในคอกขนาด 1.5×1.5 เมตร มีน้ำดื่มตลอดเวลา ก่อนทำการทดลอง 21 วัน สุกรทุกตัวได้รับวัคซีนโมโครพลาสมา อหิวาต์สุกร พืชสุนัขบ้าเทียม ปากและเท้าเปื่อยระหว่างทดลองให้อาหารสุกรวันละ 2 ครั้ง (ตอนเช้า 8.00 นาฬิกา และตอนเย็น 16.00 นาฬิกา โดยให้อาหารแบบเต็มที (*ad libitum*))

3.4.2 การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการปรับตัวสุกรทดลองก่อนเก็บข้อมูลเป็นเวลา 7 วัน โดยให้สุกรกินอาหารและน้ำแบบเต็มที (*ad libitum*) บันทึกผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเมื่อสุกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 50 กิโลกรัม ทำการบันทึกอาหารที่สัตว์ทดลองกินในแต่ละวันและน้ำหนักสุกรทุก ๆ 7 วัน ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน นำอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการตาย มาวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error, SE) โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย LSD (Least Significant Difference) ด้วยโปรแกรม R commander (R 3.1.1) ตามวิธีของ ชูศักดิ์ จอมพุก (2552)

แบบจำลองด้านคณิตศาสตร์ของงานทดลอง

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = ค่าสังเกตจาก treatment ที่ i block ที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยประชากร

T_i = อิทธิพลจากระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40

β_j = อิทธิพลเนื่องจาก block (j คอก)

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ

ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารทดลองและส่วนประกอบทางเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	ระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus</i> sp. (ร้อยละ)			
	0	20	30	40
กากแป้งมันหมักเชื้อรา	0.00	20.00	30.00	40.00
มันเส้นบด	55.00	42.10	34.90	26.50
กากถั่วเหลือง	35.50	28.40	25.60	24.00
ปลาป่น	3.00	3.00	3.00	3.00
มันสุกร	3.00	3.00	3.00	3.00
ไคคลเซียม ฟอสเฟต	3.00	3.00	3.00	3.00
เกลือ	0.50	0.50	0.50	0.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	16.87	14.55	13.55	12.81
วัตถุดิบแห้ง (%)	83.76	80.45	77.41	74.65
โปรตีน (%)	17.76	17.57	17.73	17.64
ไขมัน (%)	4.15	4.08	4.00	3.98
เยื่อใย (%)	3.77	6.34	6.79	7.88
เถ้า (%)	7.17	7.72	6.08	5.82
แคลเซียม (%)	1.20	1.31	1.31	1.35
ฟอสฟอรัส (%)	1.04	1.02	1.02	1.01
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%) *	0.53	0.52	0.52	0.52
พลังงานทั้งหมด (kcal/kg)	4,182	4,139	4,153	4,161
Lysine *	1.13	0.95	0.88	0.85
Met + Cystine *	0.56	0.47	0.43	0.41

* ข้อมูลได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 3.2 ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ใน สปป.ลาว ปี พ.ศ. 2558

วัตถุดิบ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
กากแป้งมันสด	0.40
กากแป้งมันแห้ง	2.20
กากแป้งมันหมักเชื้อรา	4.00
มันเส้นบด	8.00
กากถั่วเหลือง	29.40
ปลาป่น	38.00
มันสุกร	22.00
ไคคลเซียม ฟอสเฟต	7.00
เกลือ	4.00

* ข้อมูลได้จากการคำนวณ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา *Rhizopus* sp.

4.1.1 การเก็บรวบรวม และแยกเชื้อรา *Rhizopus* sp.

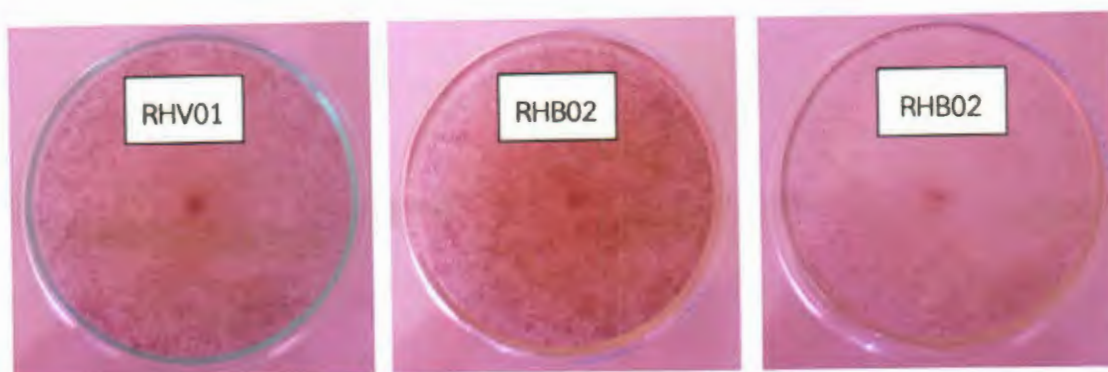
จากการเก็บรวบรวมเชื้อรา *Rhizopus* sp. จากตัวอย่างดินในพื้นที่ อำเภอบาเจียง อำเภอบางซ่อง ลูกแป้งเหล้าขาวเวียดนาม และลูกแป้งสาโท แขวงจำปาสัก สปป.ลาว จำนวนทั้งสิ้น 20 ตัวอย่าง และแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ด้วยวิธี dilution plating technique บนอาหาร PDA สามารถแยกเชื้อราที่เป็นเชื้อ *Rhizopus* บริสุทธิ์ ซึ่งมีลักษณะโคโลนีเจริญบนอาหารเป็นแบบเส้นใยขาวฟู สปอร์สีดำ-น้ำตาล เจริญดีและรวดเร็วภายใน 18 - 24 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้นจำนวน 15 ไอโซเลต (ตารางที่ 4.1) นำเชื้อราที่คัดเลือกได้มาทำให้บริสุทธิ์และเก็บในอาหาร PDA สำหรับทดสอบในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 เชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่แยกได้จากตัวอย่างชนิดต่าง ๆ

ชนิดตัวอย่าง	สถานที่เก็บ	จำนวน ไอโซเลต	รหัสเชื้อรา
ดิน	อำเภอบาเจียง สปป.ลาว	2	RHB01, RHB02
ดิน	อำเภอบางซ่อง สปป.ลาว	4	RHP01, RHP02, RHP03, RHP04
ลูกแป้งเหล้าสาโท	อำเภอบางเซ สปป.ลาว	4	RHS01, RHS02, RHS03, RHS04
ลูกแป้งเหล้าขาว	เชื้อจากตลาดดาวเรือง	5	RHV01, RHV02, RHV03, RHV04,
เวียดนาม	อำเภอบางเซ สปป.ลาว		RHV05
รวม		15	ไอโซเลต

4.1.2 ผลการคัดเลือกเชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส

จากการนำเชื้อรา *Rhizopus* sp. ทั้ง 15 ไอโซเลตเลี้ยงในอาหาร Mandels agar ที่มีส่วนผสมของ Carboxy Methyl Cellulose เพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโต พบเชื้อราจำนวน 3 ไอโซเลต สามารถเจริญเติบโตในอาหารทดสอบ ได้แก่ RHV01 (แยกได้จากลูกแป้งเหล้าขาวเวียดนาม) RHB02 (แยกได้จากดินจากอำเภอบาเจียง) และ RHS03 (แยกได้จากลูกแป้งสาโทลาว) (ภาพที่ 4.1)



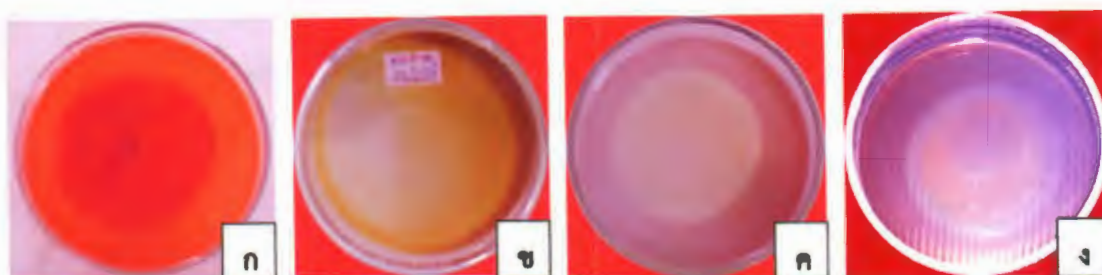
ภาพที่ 4.1 เชื้อรา *Rhizopus* จำนวน 3 ไอโซเลท ที่เจริญเติบโตได้ดีบนอาหาร CMC

เมื่อนำเชื้อรา *Rhizopus* ทั้ง 3 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส โดยวิธี spot inoculation บนอาหาร Carboxy Methyl Cellulose (CMC) agar โดยการวัดขนาดวงใส เปรียบเทียบกับเชื้อ *Rhizopus* ไอโซเลท RHB01 ซึ่งไม่มีการสร้างเอนไซม์เซลลูเลส พบเชื้อรา *Rhizopus* sp. ทั้ง 3 ไอโซเลท คือ RHV01 RHB02 และ RHS03 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส หรือ ค่า HC value เท่ากับ 1.06, 1.07 และ 1.19 ตามลำดับ โดยเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา *Rhizopus* sp.

ลักษณะที่ศึกษา	ไอโซเลท				SEM	P-value
	RHB01	RHV01	RHB02	RHS03		
เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนใสรอบโคโลนี (mm)	-	6.02	5.70	6.80	-	-
เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี (mm)	-	5.62	5.38	5.71	-	-
ค่า HC (hydrolysis capacity value)	-	1.07 ^b	1.06 ^b	1.19 ^a	0.09	0.002

หมายเหตุ: ตัวเลขที่อยู่ในแถวเดียวกันมีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับไม่เหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการเกิดบริเวณส่วนไฮรอฟโคโลนีเชื้อรา *Rhizopus* sp. 4 ไอโซเลตต่าง ๆ ที่เจริญบนอาหาร CMC

(ก) RHB01; (ข) RHV01; (ค) RHB02; (ง) RHS03

4.1.3 การจำแนกชนิดของเชื้อรา *Rhizopus* spp.

เมื่อนำเชื้อ *Rhizopus* sp ไอโซเลต RHS03 ซึ่งมีค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุดจากการทดสอบในข้อ 4.1.2 มาจำแนกชนิด (species) โดยใช้ข้อมูลในการเจริญที่อุณหภูมิสูงสุดที่เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเชื้อราโดยใช้เทคนิคการเลี้ยงเชื้อราบนแผ่นสไลด์เป็นเกณฑ์ในการจำแนกให้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.3.1 การทดสอบอุณหภูมิสูงสุดในการเจริญเติบโต

ผลการเลี้ยงเชื้อรา *Rhizopus* spp ไอโซเลต RHS03 บนอาหาร PDA เป็นเวลา 3 วัน ในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี 90 มิลลิเมตรและมีค่าเท่ากับกับเชื้อราที่บ่มในสภาพอุณหภูมิห้อง และเมื่อบ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เชื้อราไม่มีการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลต RHS03 (มิลลิเมตร) บนอาหาร PDA บ่มในสภาพอุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 วัน

ซ้ำ	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิ 45°C			อุณหภูมิ 50°C		
	วันที่1	วันที่2	วันที่3	วันที่1	วันที่2	วันที่3	วันที่1	วันที่2	วันที่3
1	34.00	77.60	90.00	32.00	60.00	90.00	0	0	0
2	35.00	78.00	90.00	31.00	55.00	90.00	0	0	0
3	34.00	79.00	90.00	29.00	64.00	90.00	0	0	0
4	32.00	78.00	90.00	33.00	72.00	90.00	0	0	0
5	34.00	75.00	90.00	34.00	70.00	90.00	0	0	0
เฉลี่ย	33.80	77.50	90.00	31.08	64.20	90.00	0	0	0

4.1.3.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เมื่อนำเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 เลี้ยงบนแผ่นสไลด์และนำไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น ราก (rhizoids) ความยาวก้านสปอร์ (sporangiohores) ความกว้างอับสปอร์ (sporangia) ลักษณะรูปร่างสปอร์ (sporangiospores) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า รากมีการแตกแขนงตั้งแต่ 4 - 8 แขนง (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการแตกแขนงของราก (rhizoids) ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03

4.1.3.3 ความยาวก้านสปอร์ (sporangiohores)

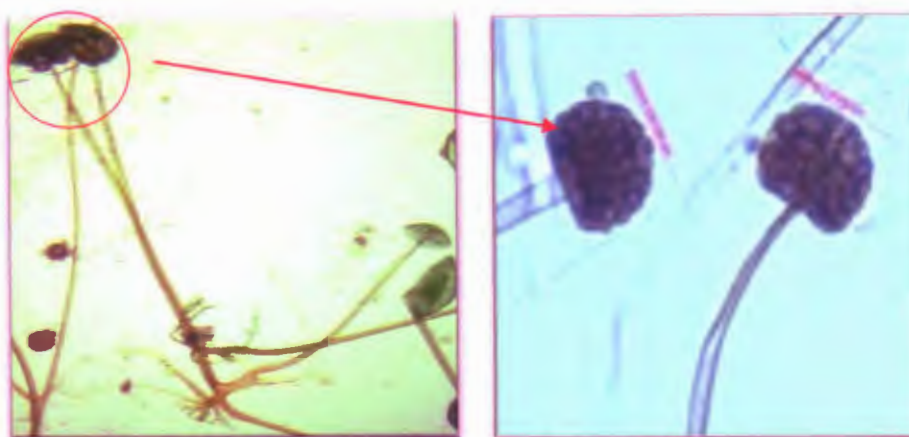
เชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีความยาวก้านสปอร์ (ส่วนที่อยู่ระหว่าง รากและอับสปอร์) 0.94 - 1.96 มิลลิเมตร โดยก้านสปอร์มีลักษณะตั้งชูออกจากผิวหน้าอาหารขึ้นสู่อากาศ เป็นก้านเดี่ยวๆ (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 ลักษณะก้านสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03

4.1.3.4 ความกว้างอับสปอร์ (sporangia)

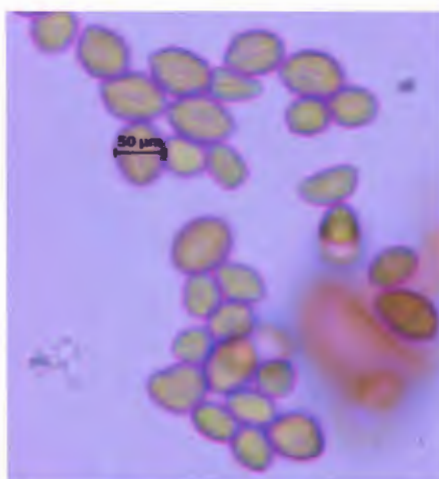
อับสปอร์เป็นส่วนปลายสุดของเชื้อราที่ต่อจากส่วนที่เป็นก้านชูสปอร์ ภายในบรรจุสปอร์จำนวนมาก ความกว้างอับสปอร์เชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 96 – 180 ไมครอน (μm) (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 อับสปอร์ (sporangia) ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03

4.1.3.5 ลักษณะรูปร่างสปอร์ (sporangiospores)

สปอร์เป็นหน่วยสืบพันธุ์ของเชื้อราที่อยู่ในอับสปอร์ (sporangia) สปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีรูปร่างแบบวงรี มีความกว้างตั้งแต่ 40 – 50 ไมครอน และพบที่บริเวณผิวสปอร์เกิดเป็นร่องตามแนวยาวคล้ายรอยขีด (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ลักษณะสปอร์ (sporangiospores) เชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03

เมื่อนำข้อมูลทางสัณฐานวิทยาในด้านต่างๆ เช่น อุณหภูมิสูงสุดในการเจริญเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น rhizoids ความยาวก้านชูสปอร์ (sporangiophores) ความกว้างอับสปอร์ (sporangia) ลักษณะรูปร่างสปอร์ (sporangiospores) ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 เปรียบเทียบกับข้อมูลสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Rhizopus* จากรายงานของ Domsch and Gams (1980) พบว่า มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาตรงกับเชื้อรา *Rhizopus oryzae* (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 กับเชื้อรา *Rhizopus oryzae* และ *Rhizopus stolonifera* จากรายงานของ Domsch and Gams (1980)

ลักษณะที่ศึกษา	<i>Rhizopus</i> sp. ไอโซเลท RHS03	<i>Rhizopus</i> <i>oryzae</i>	<i>Rhizopus</i> <i>stolonifera</i>
อุณหภูมิสูงสุดในเจริญเติบโต, องศาเซลเซียส	<45	<45	<33
ความสูงของโคโลนีบนอาหารวุ้น, มิลลิเมตร	10	10	10
การแตกแขนงของราก (Rhizoid), แขนง	4 - 6	4 - 8	8 - 12
ความยาวของก้านสปอร์ (Sporangiophores), มิลลิเมตร	9.40 - 19.60	10 - 25	10 - 40
เส้นผ่านศูนย์กลางของอับสปอร์ (Sporangia), ไมครอน	96 - 180	50 - 200	250 - 275
เส้นผ่านศูนย์กลางของสปอร์ (sporangiospores), ไมครอน	40 - 50	-	-
ลักษณะพื้นผิวสปอร์	มีรอยขีด	มีรอยขีด	มีรอยขีด

4.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae*. ไอโซเลท RHS03

4.2.1 ผลการผลิตผงเชื้อ *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03 ในข้าว

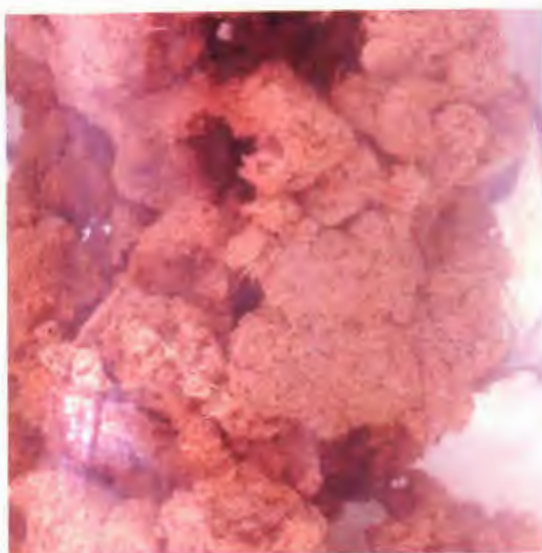
เมื่อนำเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 เพาะเลี้ยงในข้าวสารที่หุงกึ่งดิบกึ่งสุกเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาอบแห้งที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส บดเป็นผงให้ละเอียด ตรวจนับปริมาณความเข้มข้นของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า ผงเชื้อรามีความเข้มข้นของสปอร์ 7.63×10^6 สปอร์ต่อผงเชื้อรา 1 กรัม

4.2.2 ผลการทำหัวเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03 ด้วยกากแป้งมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ

เมื่อนำผงเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 มาหมักร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลังแห้งด้วยวิธีการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) (อัตรา 1:10) เป็นเวลา 7 วัน ในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ และเรียกกากแป้งมันสำปะหลังแห้งที่หมักเชื้อรานี้ว่า “หัวเชื้อราหมักกากแป้งมันสำปะหลัง” และเมื่อสุ่มตัวอย่างบางส่วนไปวิเคราะห์หาโภชนะด้วยวิธีประมาณ (Proximate analysis) พบว่า กากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 มีโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.56 เป็นร้อยละ 6.79 และมีเยื่อใยลดลงจากร้อยละ 15.40 เหลือร้อยละ 10.98 และเมื่อตรวจนับความเข้มข้นสปอร์ด้วย Hemacytometer พบว่า มีความเข้มข้น 6.12×10^4 สปอร์ต่อหัวเชื้อราหมักกากแป้งมันสำปะหลัง 1 กรัม

4.2.3 ผลการปรับโภชนะกากแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03

เมื่อนำหัวเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 หมักกากแป้งมันสำปะหลังนำมาหมักกับกากแป้งมันสำปะหลังแห้งที่เตรียมไว้เลี้ยงสุกร (ในอัตรา 1:10) แบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) เป็นเวลา 5 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าโภชนะด้วยวิธีประมาณ (Proximate analysis) เปรียบเทียบกับกากแป้งมันสำปะหลังแห้งที่ไม่ผ่านการหมัก (ภาพที่ 4.7) พบว่า กากแป้งมันสำปะหลังแห้ง มีโปรตีน เยื่อใย ไขมัน เถ้า แคลเซียมและฟอสฟอรัส ประมาณร้อยละ 1.52, 15.56, 0.38, 2.27, 0.66 และ 0.24 ตามลำดับ และพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 3,895 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อนำกากแป้ง มันสำปะหลังมาหมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 ทำให้มีโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.34 และเยื่อใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 11.09 ส่วนไขมัน เถ้า แคลเซียมและฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนั้น กากแป้งมันสำปะหลังหมักมีพลังงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีค่า 3,656 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.5)



กากแป้งมันสำปะหลังแห้ง



กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อ

ภาพที่ 4.7 ลักษณะกากแป้งมันสำปะหลังแห้งและกากแป้งมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03

ตารางที่ 4.5 ส่วนประกอบทางเคมีของกากแป้งมันสำปะหลังและกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03 เป็นเวลา 5 วัน

โภชนะ	กากแป้งมัน สำปะหลัง แห้ง	กากแป้งมัน สำปะหลัง หมัก	SEM	P-value
วัตถุแห้ง (%)	86.00	48.65	-	-
โปรตีน (%)	1.52 ^b	7.34 ^a	0.05	0.00
เยื่อใย (%)	15.56 ^b	11.09 ^a	0.52	0.00
ไขมัน (%)	0.38	0.39	0.51	0.36
เถ้า (%)	2.27	4.51	0.11	0.08
แคลเซียม (%)	0.66	0.56	0.27	0.07
ฟอสฟอรัส (%)	0.34	0.31	0.78	0.05
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (%) *	0.15	0.14	-	-
พลังงานทั้งหมดในอาหาร (kcal/kg)	3,895 ^b	3,656 ^a	0.49	0.00

หมายเหตุ: ตัวเลขที่อยู่ในแถวเดียวกันมีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับไม่เหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

4.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร

ผลการทดสอบการย่อยได้ของอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราในสูตรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ของอาหารที่มีส่วนผสมของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 (ตารางที่ 4.6)

4.3.1 การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง

การย่อยได้ของสิ่งแห้งของอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 81.73, 80.90, 80.32 และ 81.29 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.2 การย่อยได้ของโปรตีน

การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.21, 85.04, 84.12 และ 84.38 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.3 การย่อยได้ของเยื่อใย

การย่อยได้ของเยื่อใยในอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.76, 43.32, 41.28 และ 41.39 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.4 ค่าพลังงานที่ย่อยได้

ค่าพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 3,314, 3,180, 3,203 และ 3,274 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.5 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

พลังงานใช้ประโยชน์ของอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 3,236, 3,098, 3,117 และ 3,182 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.6 ผลการย่อยได้ปรากฏของโภชนะในอาหารทดลองของสุกรรุ่นสามสาย (เป็ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน)

ลักษณะที่ศึกษา	กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา				SEM	P-value
	(%)					
	0	20	30	40		
การกินได้ของสิ่งแห้ง (กรัม/วัน)	1,663	1,513	1,508	1,480	-	-
ถ่ายมูลคิดเป็นสิ่งแห้ง (กรัม/วัน)	304	289	296	277	-	-
การย่อยได้ของสิ่งแห้ง (%)	81.73	80.90	80.32	81.29	0.29	0.14
การย่อยได้ของของโปรตีน (%)	84.21	85.04	84.12	84.38	0.24	0.30
การย่อยได้ของเยื่อใย (%)	44.76	43.32	41.28	41.39	1.09	0.71
พลังงานทั้งหมด, GE (kcal/kg)	3,810	3,731	3,800	3,842	65.91	0.95
พลังงานที่ย่อยได้, DE (kcal/kg)	3,314	3,180	3,203	3,271	62.64	0.89
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, ME(kcal/kg)	3,236	3,098	3,117	3,182	62.63	0.89
ME:DE (%)*	97.62	97.38	97.29	97.24	0.05	0.21

* ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

4.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหารสุกรรุ่น

ผลการทดสอบสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เป๊ยะเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่ได้รับอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 พบว่า อิทธิพลของบล็อกละดับพื้นคลอกที่มีความเอียง 15 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนสมรรถนะการผลิตแสดงในตารางตารางที่ 4.7

4.4.1 อัตราการเจริญเติบโต

อัตราการเจริญเติบโตของสุกรรุ่นที่ได้รับอาหารสูตรกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 514, 519, 518 และ 523 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.4.2 การกินได้เฉลี่ยต่อวัน

อัตราการกินได้ต่อวันของสุกรรุ่นที่ได้รับอาหารสูตรกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยมีอัตราการกินได้เท่ากับ 1,472, 1,532, 1,512 และ 1,535 กรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.4.3 อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว

อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรรุ่นที่ได้รับอาหารสูตรกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 พบว่า สุกรมีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 2.98, 2.98, 2.97 และ 2.97 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

4.4.4 ต้นทุนค่าอาหารสุกรต่อกิโลกรัม

สุกรรุ่นที่ได้รับอาหารสูตรผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีต้นทุนค่าอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 50.28, 43.36, 40.25 และ 38.04 บาทต่อกิโลกรัมสุกรมีชีวิต ตามลำดับ หรือมีต้นทุนค่าอาหารลดลงที่ 6.91, 10.02 และ 12.23 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ผลของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่นสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน)

ลักษณะที่ศึกษา	กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา (%)				SEM	P-value
	0	20	30	40		
จำนวนสัตว์ทดลอง (ตัว)	10	10	10	10	-	-
ช่วงเวลาทำการทดลอง (วัน)	63	63	63	63	-	-
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)						
เริ่มต้น	19.63	19.90	19.76	19.82	0.11	0.97
วันที่ 7	22.65	22.92	22.70	22.68	0.14	0.91
วันที่ 14	25.78	26.14	25.94	26.14	0.22	0.92
วันที่ 21	29.19	29.78	29.53	29.76	0.33	0.90
วันที่ 28	32.63	33.30	33.15	33.40	0.33	0.84
วันที่ 35	36.30	37.15	36.65	37.20	0.46	0.80
วันที่ 42	39.68	40.90	40.45	40.95	0.55	0.73
วันที่ 49	43.81	45.00	44.15	45.00	0.72	0.83
วันที่ 56	48.00	49.05	48.35	48.75	0.43	0.90
วันที่ 63	52.05	52.75	52.40	52.80	0.93	0.94
น้ำหนักเพิ่ม (กิโลกรัม)	32.43	32.85	32.64	32.98	0.92	0.95
อัตราการเจริญเติบโตแต่ละสัปดาห์ (กรัม/วัน)						
วันที่ 0 - 7	414	431	420	409	26.09	0.99
วันที่ 7 - 14	446	460	463	494	16.45	0.73
วันที่ 14 - 21	487	520	513	517	20.14	0.91
วันที่ 21 - 28	518	502	517	520	12.92	0.94
วันที่ 28 - 35	525	550	500	543	16.07	0.62
วันที่ 35 - 42	482	536	543	536	20.00	0.57
วันที่ 42 - 49	580	564	529	579	29.36	0.89
วันที่ 49 - 56	598	579	600	536	20.81	0.74
วันที่ 56 - 63	579	528	579	579	22.63	0.83
เฉลี่ย	514	519	518	523	14.63	0.84

ตารางที่ 4.7 ผลของกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03 ต่อสมรรถนะการผลิตสารผลิตภัณฑ์สุกสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) (ต่อ)

ลักษณะที่ศึกษา	กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา (%)				SEM	P-value
	0	20	30	40		
อัตราการกินได้ (กรัม/วัน)						
วันที่ 0 - 7	960	971	998	992	18.51	0.83
วันที่ 7 - 14	1,216	1,224	1,258	1,183	39.99	0.92
วันที่ 14 - 21	1,386	1,457	1,486	1,428	26.47	0.72
วันที่ 21 - 28	1,452	1,586	1,599	1,610	22.53	0.75
วันที่ 28 - 35	1,604	1,653	1,618	1,580	20.08	0.63
วันที่ 35 - 42	1,551	1,536	1,516	1,522	30.27	0.99
วันที่ 42 - 49	1,739	1,704	1,634	1,729	30.35	0.72
วันที่ 49 - 56	1,773	1,819	1,716	1,764	41.40	0.84
วันที่ 56 - 63	1,824	1,802	1,784	1,888	54.92	0.88
เฉลี่ย	1,472	1,532	1,512	1,535	64.02	0.69
อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว						
วันที่ 0 - 7	2.24	2.30	2.60	2.71	0.16	0.77
วันที่ 7 - 14	2.78	2.72	2.73	2.59	0.06	0.70
วันที่ 14 - 21	3.00	2.83	3.03	2.78	0.10	0.75
วันที่ 21 - 28	3.17	3.16	3.12	3.15	0.06	0.84
วันที่ 28 - 35	3.26	3.11	3.29	2.97	0.09	0.66
วันที่ 35 - 42	3.14	2.98	2.86	2.87	0.10	0.67
วันที่ 42 - 49	3.02	3.07	3.13	2.03	0.14	0.99
วันที่ 49 - 56	2.98	3.27	2.87	3.33	0.08	0.72
วันที่ 56 - 63	3.24	3.39	3.13	3.28	0.02	0.69
เฉลี่ย	2.98	2.98	2.97	2.97	0.05	0.98
ต้นทุนค่าอาหาร (บาทต่อกิโลกรัมสุกมีชีวิต)	50.28	43.36	40.25	38.04		
ส่วนต่าง (บาท/กิโลกรัม)	-	6.91	10.02	12.23	-	-

บทที่ 5

อภิปรายผล

5.1 การศึกษาเกี่ยวกับเชื้อรา *Rhizopus* sp.

จากการเก็บรวบรวมและแยกเชื้อรา *Rhizopus* sp. จากตัวอย่างดินในพื้นที่อำเภอบาเจียง อำเภอบางซ่อง ลูกแป้งเหล้าขาวเวียงดนามและลูกแป้งสาโท แขวงจำปาสัก สปป.ลาว รวม 20 ตัวอย่าง สามารถแยกเชื้อรา *Rhizopus* ได้ทั้งสิ้น 15 ไอโซเลท ได้แก่ RhB01, RhB02, RHP01, RHP02, RHP03, RHP04, RHS01, RHS02, RHS03, RHS04, RHV01, RHV02, RHV03, RHV04 และ RHV05 เช่นเดียวกับการรายงานของ วิเชียร กิจปรีชาวิช และคณะ (2542) ที่แยกเชื้อรา *Rhizopus* sp. จากลูกแป้งสาโทและแป้งข้าวหมาก ได้ทั้งหมดจำนวน 16 ไอโซเลท นอกจากนั้น Zheng et al., (2007) รายงานพบเชื้อรา *Rhizopus* sp. ใน ดิน มูลสัตว์และซากพืชที่เน่าเสียโดยเชื้อราดังกล่าวจะเป็นตัวช่วยในการย่อยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ออกมาและผลการศึกษาของ Mertens et al., (2006) รายงานการใช้เชื้อรา *Rhizopus* sp. ในการผลิตกรดอินทรีย์ เอนไซม์ และอาหารหมักดองของ ชาวอินโดนีเซีย จีน และญี่ปุ่นมาเป็นเวลานานอาจกล่าวได้ว่าเชื้อรา *Rhizopus* sp. สามารถพบในทุกที่เช่น ในดิน แหล่งน้ำ อาหารคน อาหารสัตว์ มูลสัตว์ รวมถึงในระบบย่อยอาหารของสัตว์และ เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารของมนุษย์อย่างมาก เมื่อนำเชื้อรา *Rhizopus* spp. ทั้ง 15 ไอโซเลท ไปทำการคัดเลือกเบื้องต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ Carboxy methyl Cellulose agar พบเชื้อราที่สามารถ เจริญเติบโตบนอาหารได้จำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ เชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่แยกได้จากลูกแป้งสุรา พื้นเมืองของเวียงดนามอันดับที่ 1 (RHV01), *Rhizopus* sp. ที่แยกได้จากตัวอย่างดินจากอำเภอบาเจียงอันดับที่ 2 (RHB02) และ *Rhizopus* sp. ที่แยกได้จากลูกแป้งสาโทจากอำเภอบางซ่อง อันดับที่ 3 (RHS03) แสดงให้เห็นว่า เชื้อรา *Rhizopus* sp. บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มี เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหรือสามารถย่อยเซลลูโลสได้ และเมื่อทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสเชิงคุณภาพโดยวัดค่า Hydrolysis Capacity value (HC value) ซึ่งบ่งบอกว่าเชื้อราที่มีค่า HC value สูงจะมีการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมาก (Lu et al., 2005) โดยผลของการศึกษาค้นคว้า พบว่า เชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลทมีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) กับกลุ่มควบคุม โดยเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHS03 มีค่า HC มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.19 รองลงมาคือ ไอโซเลท RHV01 และ RHB02 โดยมีค่า HC เท่ากับ 1.07 และ 1.06 ตามลำดับ แต่ไม่พบกิจกรรม เอนไซม์ในไอโซเลท RHB01 เช่นเดียวกับการรายงานของ Murashima et al., (2001) รายงานว่า เชื้อรา *R. oryzae* มีความสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและเมื่อตรวจสอบชนิด (species) ของเชื้อรา *Rhizopus* ไอโซเลท RHS03 โดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาที่เจริญเติบโตบนแผ่นสไลด์ด้วยวิธีเลี้ยง เชื้อราบนแผ่นสไลด์ พบว่า เชื้อราดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตภายใต้อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส และหยุดการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบลักษณะโคโลนี เหมือนปุยฝ้ายความสูงของ โคโลนีประมาณ 10 มิลลิเมตร ก้านชูสปอร์ (sporangiophores) มีความยาวตั้งแต่ 0.96 - 1.98 มิลลิเมตร อับสปอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 96 -180 ไมโครเมตร และพบส่วนที่เป็นราก (rhizoid)

แตกแขนง 4 ถึง 6 แขนง ซึ่งสอดคล้องกับเชื้อรา *R. oryzae* ที่รายงานไว้โดย Domsch and Gams (1980) แสดงให้เห็นว่า เชื้อราที่ทำการศึกษานี้เป็นเชื้อรา *R. oryzae* เช่นเดียวกับรายงานของ นภา โล่ทอง (2534) ที่พบเชื้อราในกลุ่ม *Rhizopus* เป็นจำนวนมากในลูกแป้งสาโท และข้าวหมากและ ส่วนใหญ่เป็น *R. oryzae* นอกจากนั้น วิเชียร กิจปรีชาวนิช และคณะ (2542) ทำการศึกษาในทำนองเดียวกันโดยคัดแยกและระบุชนิดของเชื้อรา *Rhizopus* จากลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งเหล้า แป้งหัวเชื้อสุรา น้ำข้าวข้าว ด้วยวิธีการเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้ พบเชื้อราในกลุ่ม *Rhizopus* sp. จำนวน 16 สายพันธุ์ โดยเป็น *Rhizopus oryzae* ถึง 14 สายพันธุ์ หรือคิดเป็นร้อยละ 87.5 ในขณะที่พบเชื้อรา *R. oligosporus* เพียงแค่ 2 สายพันธุ์เท่านั้นหรือคิดเป็นร้อยละ 12.5

5.2 การปรับโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังด้วยการหมักเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท

RHS03

ผลการวิเคราะห์โภชนะในกากแป้งมันสำปะหลังแห้งพบว่า มีค่าของโภชนะประกอบด้วยโปรตีน เยื่อใย ไขมัน เถ้า แคลเซียมและฟอสฟอรัส ประมาณร้อยละ 1.52, 15.56, 0.38, 2.27, 0.66 และ 0.24 ตามลำดับ เมื่อหมักกากแป้งมันสำปะหลังแห้งด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 ด้วยวิธีการหมักแบบอาหารแข็ง เป็นเวลา 5 วัน ได้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา (ภาพที่ 7) และเมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่ามีสัดส่วนโปรตีนในกากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.52 เป็น 7.34 (ตารางที่ 4.5) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้เชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลท RHS03 ในการทดลองนี้ทำให้กากแป้งมันสำปะหลังมีส่วนประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ดีขึ้น เช่นเดียวกับการรายงานของ Oboh and Elusiyan (2007) รายงานการเพิ่มโภชนะของแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *R. oryzae* เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมัก พบว่า แป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักมีโปรตีนร้อยละ 6.40 เมื่อผ่านการหมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* พบว่า มีโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10.5 โดยปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นมาจากเส้นใยของเชื้อรา เพราะเมื่อเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีเส้นใยก็ยิ่งมากและทำให้โปรตีนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับ รายงานของ ทรงศักดิ์ จำปาหวี และคณะ (2555) ที่ทำการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *R. oryzae* พบว่า มันสำปะหลังมีสัดส่วนของโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 6.3 และ Hamdy (2013) รายงานผลการปรับโภชนะของเปลือกส้มด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* เป็นเวลา 7 วัน ทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.62 เป็นร้อยละ 22.00

ส่วนสัดส่วนของเยื่อใยในกากแป้งมันสำปะหลังที่ลดลงจากร้อยละ 15.56 เหลือร้อยละ 11.09 หลังการหมัก อาจเกิดจากเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจากเชื้อรา *R. oryzae* โดยเอนไซม์จะย่อยเซลลูโลสซึ่งเป็นสารประเภทเยื่อใยในกากแป้งมันสำปะหลัง และกลายเป็นอาหารแก่เชื้อรา ดังนั้นเมื่อกากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักมีปริมาณของเซลลูโลสลดลง และส่งผลทำให้มีสัดส่วนของเยื่อใยลดลง เช่นเดียวกับการรายงานของ Oboh and Elusiyan (2007) ที่รายงานว่า มันสำปะหลังที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ทำให้เยื่อใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยลดลงจากร้อยละ 3.80 เหลือร้อยละ 1.90 นอกจากนั้น Vig and Walia (2001) รายงานการเปลี่ยนแปลงของเยื่อใยในเมล็ดเลพส์ (Rape seed) หมักด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* เป็นเวลา 10 วัน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเยื่อใยในวันที่ 1, 2, 5, 8 และ 10 ของการหมัก พบว่า ปริมาณเยื่อใยมีสัดส่วน

ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยลดลงจากร้อยละ 12.50 เหลือร้อยละ 9.30 ในการหมักที่ 10 วัน

ส่วนไขมัน เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะเป็นสารอาหารที่เชื้อราต้องการในปริมาณที่น้อยมาก รวมทั้งมีแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส สังกะสี แมกนีเซียม ธาตุเหล็ก โซเดียม และ โพแทสเซียม ใช้ในปริมาณที่น้อยมาก (Akindahunsi et al., 1999) ซึ่งผลของการศึกษาครั้งนี้พบว่า แร่ธาตุ เช่น ไขมัน เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในกากแป้งมันสำปะหลังที่หมักแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

5.3 การทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารที่ผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลทที่ RHS03 ที่ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ในสูตรรูลูกผสมสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ในครั้งนี้พบว่า การย่อยได้ของสิ่งแห้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 81.73, 80.90, 80.32 และ 81.29 ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองของ พรทิมล ตนสิงห์ (2551) ที่ศึกษาการย่อยได้ของสิ่งแห้งในกากแป้งมันสำปะหลังกับสูตรรูลูกผสมน้ำหนัก 30 กิโลกรัม พบว่า สิ่งแห้งในกากแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยได้ร้อยละ 70.96 และพบว่ากากแป้งมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ไอโซเลทที่ RHS03 มีค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรามีส่วนย่อยใยที่ลดลงจากร้อยละ 15.56 เหลือร้อยละ 11.09 เช่นเดียวกับรายงานของ Oboh and Elusiyan (2007) ที่ศึกษาการหมักแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *R. oryzae* เป็นเวลา 3 วัน และรายงานว่าการย่อยแป้งมันสำปะหลังหลังการหมักมีปริมาณใยลดลงจากร้อยละ 3.80 เหลือร้อยละ 1.90 ทั้งนี้การย่อยได้ของสิ่งแห้งในอาหารสุกรมี่ความสัมพันธ์กับระดับของใยในอาหาร โดยเมื่อใยต่ำการย่อยได้ของสิ่งแห้งก็จะสูงขึ้น (Zhang et al., 2013)

การย่อยได้ของใย พบว่า สูตรที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีสัดส่วนใยในอาหารเพิ่มขึ้นคือ ร้อยละ 3.77, 6.34, 6.79 และ 7.88 ตามลำดับ โดยมีค่า การย่อยได้ของใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อราในอาหารเพิ่มขึ้นโดยมีค่าการย่อยได้เท่ากับ 44.76, 43.32, 41.28 และ 41.39 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับรายงานของ สุกัญญา ทิมทอง (2546) ที่ทำการทดลองในทำนองเดียวกันแต่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังที่ ไม่หมักโดยใช้ในอัตราร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยมีสัดส่วนการย่อยได้ของใยในอาหารร้อยละ 23.34, 50.27, 39.68 และ 47.94 ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ Huu and Terdsack (2014) ได้ทดลองใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์พบว่า การย่อยได้ของใยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้เพราะสุกรเล็ก-รุ่นย่อยใยในกากแป้งมันสำปะหลังได้น้อย (อโนชา เลาศรีรัตน์ชัย และอุทัย คันโธ, 2529) เพราะระดับใยที่มีในอาหารสุกรรุ่นทั่วไปไม่ควรเกินร้อยละ 6 (Mateos et al., 2006) อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของใยในสุกรยังมีปัจจัยด้านอื่นมาเกี่ยวข้องด้วย โดย Yen et al., (2004) และ Lindberg (2014) รายงานว่าสุกรแต่ละสายพันธุ์มีการย่อยของระดับใยที่ต่างกัน เช่น สุกรพันธุ์เหมยซานซึ่งเป็นสุกรพื้นเมืองของจีน มีการย่อยใยได้ดีกว่าสุกรพันธุ์ทางการค้าของพันธุ์ยุโรปและอเมริกา

สำหรับการย่อยได้ของโปรตีนของสุกรที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีสัดส่วนของโปรตีนในอาหารเท่ากับร้อยละ 17.76, 17.57, 17.73 และ 17.64 ตามลำดับ พบว่า การย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 84.21, 85.04, 84.12 และ 84.38 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับรายงานของ Huu and Terdsack (2014) ทำการทดลอง ในทำนองเดียวกันแต่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ในอาหารสุกรเล็กที่ร้อยละ 0, 3, 6, 9 และ 12 โดยมีสัดส่วนของโปรตีนร้อยละ 22.27, 22.31, 22.17, 22.12 และ 22.20 พบว่า การย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 84.10, 83.00, 84.40, 82.70 และ 84.90 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สอดคล้องกับรายงานของ สุกัญญา ทิมทอง (2546) ทำการทดลองใช้ กากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักในอาหารสุกรรุ่นที่อัตราร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติของการย่อยได้ของโปรตีนเช่นกัน นอกจากนี้ พรทิมล ดนสิงห์ (2551) และ วรียา โกสุม (2552) ยังรายงานว่า การย่อยได้ของโปรตีนของกากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักในสุกรรุ่นที่ ร้อยละ 64.45 และ 66.20 ตามลำดับ ทั้งนี้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา มีสัดส่วนของโปรตีนที่ เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โปรตีนที่ได้จากการหมักเป็นโปรตีนที่ได้จากเชื้อราที่มีการผลิตเอนไซม์ Protease ซึ่งเป็นเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน (Aikat et al., 2001) อาจช่วยในการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารหมักเชื้อราด้วย

พลังงานย่อยได้ที่สุกรได้รับจากอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีสัดส่วนของพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 4,182, 4,139, 4,153 และ 4,161 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหารพบว่า พลังงานย่อยได้มีค่าเท่ากับ 3,314, 3,180, 3,203 และ 3,274 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร และไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับรายงานของ Huu and Terdsack (2014) ทำการทดลองในลูกสุกรเล็กและใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ ทั้งนี้สัดส่วนของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานย่อยได้ (ME/DE) เท่ากับร้อยละ 97.62, 97.38, 97.29 และ 97.24 ตามลำดับ โดยที่กากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักมีพลังงานทั้งหมดประมาณ 3,895 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา มีพลังงานทั้งหมดประมาณ 3,656 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามพลังงานย่อยได้ของกากแป้งมันสำปะหลังก็นับว่าเพียงพอที่สุกรจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมปศุสัตว์, 2544)

5.4 การทดสอบระดับกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03

ต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนค่าอาหารสุกรรุ่น

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Gain, ADG) สำหรับสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปี้ยวเรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 พบว่า สุกรรุ่นมีอัตราการเจริญเติบโต 514, 519, 518 และ 523 กรัมต่อวัน ตามลำดับ โดย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ พรทิมล ดนสิงห์ (2551) รายงานการใช้กาก แป้งมันสำปะหลังที่ไม่หมักในสุกรรุ่นได้ถึงร้อยละ 20 และ สุกัญญา ทิมทอง (2546) และ นาริรัตน์ เจริญวัฒนสกุล และคณะ (2552) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังได้ถึงร้อยละ 30 ทั้งนี้งานทดลองนี้สามารถใช้ได้สูงกว่าถึง ร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาด้านอัตราการเจริญเติบโตในงานทดลองครั้งนี้ซึ่งใช้สุกรลูกผสมที่มีสายเลือดของสุกรพันธุ์

เหมยซาน จึงทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำสุกรสายเลือดยุโรปหรืออเมริกา ซึ่งเป็นสายพันธุ์ทางการค้า เช่น สุกรสามสายทั่วไป (ดুর็อค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ) ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 700 กรัมต่อวัน (Close, 2002) โดยสุกรรุ่นพันธุ์เหมยซานมีอัตราการเจริญเติบโตเพียง 353 กรัมต่อวัน และถ้าเป็นสุกรลูกผสมระหว่างพันธุ์เหมยซานกับพันธุ์ยอร์กเชียร์จะมีอัตราการเจริญเติบโต 644 กรัมต่อวัน เท่านั้น (Hyun et al., 2001)

อัตราการกินได้เฉลี่ยต่อวัน (Feed Intake, FI) ของสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 พบว่า สุกรมีอัตราการกินได้ 1,472, 1,532, 1,512 และ 1,535 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับการรายงานของ พรทิมล ดนสิงห์ (2551) ที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 20 ไม่ส่งผลต่อการกินได้ ทั้งนี้ นาริรัตน์ เจริญวัฒนสกุล และคณะ (2552) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 30 ไม่ส่งผลต่อการกินได้ของสุกรทดลองเช่นกัน อย่างไรก็ตามอัตราการกินได้ในงานทดลองนี้ยังต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดย NRC (1998) ซึ่งสุกรรุ่นควรจะมีการกินได้ประมาณ 1,800 กรัมต่อตัวต่อวัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากอาหารที่ใช้ในการทดลองมีความฟามสูงเพราะมีส่วนผสมของมันสำปะหลังบดและกากแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อการกินได้ของสุกร (Morazan et al., 2015)

อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed Conversion Ratio, FCR) ของสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 พบว่า สุกรมีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 2.98, 2.98, 2.97 และ 2.97 ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับการรายงานใช้กากแป้งมันสำปะหลังโดย พรทิมล ดนสิงห์ (2551) ที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราร้อยละ 20 ทำให้สุกรมีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่ต่างกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ สุกัญญา ทิมทอง (2546) และ นาริรัตน์ เจริญวัฒนสกุล และคณะ (2552) รายงานการใช้กากแป้งมันสำปะหลังได้ถึงร้อยละ 30 ก็พบว่าอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่ต่างกับกลุ่มควบคุมเช่นกัน อย่างไรก็ตามอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในงานทดลองนี้ค่อนข้างด้อยโดยใช้สุกรลูกผสมที่มีสายเลือดของสุกรพันธุ์เหมยซาน ดังที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งยังมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำ แต่กินอาหารในปริมาณที่ใกล้เคียงกับสุกรสามสายทั่วไป (ดুর็อค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ) ดังนั้น เมื่อคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวจึงด้อยกว่ามาตรฐานสุกรรุ่นทั่วไป

ต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสุกรมีชีวิตพบว่า สุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่ได้รับอาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 50.28, 43.36, 40.25 และ 38.04 บาทต่อกิโลกรัมของสุกรมีชีวิต ซึ่งพบว่าการใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ในสูตรอาหารอัตราร้อยละ 20, 30 และ 40 ในงานทดลองนี้ ทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงโดยลดลง 6.91, 10.02 และ 12.23 บาทต่อน้ำหนักสุกรที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ตามลำดับ และจากการรายงานของ กรมเลี้ยงสัตว์และการประมง (2015) พบว่า สุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปใน สปป. ลาว มีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวประมาณ 2.4 และราคาอาหารสำเร็จรูปเท่ากับ 20 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนค่าอาหารประมาณ 48 บาทต่อกิโลกรัมของสุกรมีชีวิต ซึ่งนับว่าสูงกว่าต้นทุนค่าอาหารใน

กลุ่มอาหารหมักเชื้อราร้อยละ 40 ถึง 9.95 บาทต่อน้ำหนักของสุกรมีชีวิต 1 กิโลกรัม เนื่องจากอาหารสำเร็จรูปส่วนใหญ่มีราคาแพงเพราะต้องเสียภาษีและนำเข้าจากประเทศไทย ดังนั้นการใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างลูกแป้งสาโทที่มีแพร่หลายใน สปป.ลาว. สามารถใช้เพิ่มโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลัง และสามารถนำไปใช้ผสมในอาหารสุกรรุ่นลูกผสม (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ได้สูงสุดถึงร้อยละ 40 โดยไม่ส่งกระทบต่อการย่อยได้และสมรรถนะการผลิต นอกจากนั้น ยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารและอาจช่วยให้ผู้เลี้ยงสุกรใน สปป.ลาว ลดการนำเข้าสินค้าและสามารถพึ่งพาตนเองได้อีกด้วย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ผลของการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus* spp. ที่คัดได้จากลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นลูกผสม (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนัก 20 - 50 กิโลกรัมสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 เชื้อราที่คัดแยกได้จากลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว เป็นเชื้อราในกลุ่มของ *R. oryzae* ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ย่อยเยื่อใยได้

6.1.2. กากมันสำปะหลังแห้งที่หมักร่วมกับเชื้อรา *R. oryzae* ที่คัดได้จากลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว โดยใช้วิธีการหมักแบบอาหารแข็งเป็นเวลา 5 วัน มีสัดส่วนของโปรตีนในกากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.52 เป็นร้อยละ 7.34 และทำให้สัดส่วนของเยื่อใยลดลงจากร้อยละ 15.56 เหลือร้อยละ 11.09

6.1.3. กากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ที่คัดได้จากลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว ดังกล่าว สามารถใช้ผสมในสูตรอาหารสุกรรุ่นลูกผสม (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ได้สูงสุดถึงร้อยละ 40 โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการย่อยสิ่งแห้ง โปรตีน เยื่อใย พลังงานที่ย่อยได้ รวมถึงค่าพลังงานย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสุกร

6.1.4. กากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ที่คัดได้จากลูกแป้งสาโทของ สปป.ลาว เป็นเวลา 5 วัน เมื่อนำมาผสมในอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นลูกผสม (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) น้ำหนัก 20 - 50 กิโลกรัม (ตามข้อกำหนด NRC, 1998) สามารถใช้ได้สูงสุดถึงร้อยละ 40 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต เช่น อัตราการเจริญเติบโต การกินได้ และอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบ

6.1.5. การใช้กากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างลูกแป้งสาโทที่มีแพร่หลายใน สปป.ลาว. ในอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นลูกผสมสามสาย (เปี้ยเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การใช้เชื้อรา *R. oryzae* ร่วมกับผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่มาก ส่วนใหญ่จะเป็นงานที่เกี่ยวกับการใช้ *Rhizopus* sp. หรือ *R. oryzae* ในการผลิตกรดอินทรีย์และเอนไซม์อะไมเลสในการย่อยแป้ง แต่การที่นำมาใช้เป็นอาหารสุกรโดยตรงยังมีน้อย และการกำหนดระดับกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *R. oryzae* ที่ร้อยละ 40 เพราะผู้ทดลองพยายามระมัดระวังเรื่องข้อจำกัดด้านเยื่อใยในสูตรอาหาร แต่ผลการศึกษาพบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ร้อยละ 40 ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการย่อยได้และสมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่นที่นำมาทดลองแต่อย่างใด ดังนั้นในการศึกษา ครั้งต่อไปควรศึกษาการเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังหมักเชื้อราให้มาก

ขึ้นและควรมีการศึกษาในสุกกระยะขุนรวมถึงสุกรรุ่น-ขุนสามสายที่นิยมทั่วไป เช่น (ดูรีอค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ)

6.2.2 ควรศึกษาลักษณะของเชื้อรา *Rhizopus* sp. เช่น ปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมด้วยและสิ่งที่สำคัญที่สุดในการใช้เชื้อราดังกล่าว ควรให้เวลาเชื้อราในการปรับตัว และสามารถเจริญเติบโตบนกากแป้งมันที่ละน้อยไปเรื่อย ๆ จนเชื้อรา สามารถปรับตัวและเจริญบนกากแป้งมันได้ดี จึงค่อยทำการขยายไปในสัดส่วนที่มากขึ้นและสามารถต่อขยายเชื้อด้วยกากแป้งมันสำปะหลังต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ปวงคำ. จุลชีววิทยาทางอาหารทั่วไป. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547
กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. การเลี้ยงสุกร. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์
การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2544.
- กรมเลี้ยงสัตว์และการประมง. รายงานการผลิตสัตว์และการประมงของสปป.ลาว ระหว่างปี 2012-
2015 และ ทิศทางแผนการดำเนินงาน 2015-2016. นครหลวงเวียงจันทน์: กรมเลี้ยงสัตว์
และการประมง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว, 2015.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- กิตติพันธุ์ เสมอพิทักษ์. วิทยาเชื้อราพื้นฐาน. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.
- ไกรวัล กล้าแข็ง. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร มั่นสำปะหลัง. กรุงเทพมหานคร: สำนัก
ส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551.
- จรัญ เจตนะจิตร และจรัญ คำวนตา. “การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยการหมัก I. หมักด้วย
เชื้อรา *Aspergillus niger* และ ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida* sp.
ในระดับชาวบ้าน”, ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่
25. น. 201-218. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530.
- จรัญ ฉัตรมานพ และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. “การผลิตสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* ใน
ถังหมักแบบหมุนและแบบถาด”, ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์
ครั้งที่ 13. น. 1-11. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- ชูศักดิ์ จอมพัก. สถิติ: การวางแผนการตลาดและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย
“R”. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- ทรงศักดิ์ จำปาหวี และคณะ. “ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโปรตีนสูงที่ผลิตโดย
เทคโนโลยีชีวภาพในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตนกกระทาญี่ปุ่น”, วารสารแก่น
เกษตร. 40(2): 463 – 467; มกราคม, 2555.
น. 132-140. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,
2552.
- นภา โล่ห์ทอง. กล้าเชื้ออาหารหมักและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพมหานคร:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534.
- นารินทร์ เจริญวัฒนสกุล และคณะ. “ผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสุกรเล็ก รุ่น และขุน
ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก”, ใน การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาสัตวแพทย์. น. 1-8. นครปฐม:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2552.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- นุจิรา ทักสินานันต์ และคณะ. “ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด คุณภาพเม็ดอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล”, ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. น. 85-92. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2553.
- บริษัท จีเนียสดีไซด์ แอนด์แอนจิเนียริ่ง ห้างหุ้นส่วนจำกัด. “เครื่องวัดหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังแบบดิจิตอล”, เครื่องวัดหาปริมาณแป้งในหัวมัน, 2009.
<http://www.industrialbusinessguides.com>. 15 มกราคม, 2560.
- ปรีดา คำศรี และคณะ. “ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ”, ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. น. 132-140. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2552.
- พรทิมล ตนสิงห์. ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. ข้อมูลด้านการค้ามันสำปะหลัง พื้นที่การผลิต การเก็บเกี่ยว และการส่งออกมันสำปะหลัง.
<http://www.tapocathai.org/M1.html>. 25 กุมภาพันธ์, 2558.
- รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และอุทัย คັນโอ. “การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารไก่กระທ”, รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2529 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร: กรมประมงสัตว์ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529.
- วราพันธุ์ จินตณวิทย์ และคณะ. “การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกแอซิดแบคทีเรีย และยีสต์ในระหว่างการหมักกากมันสำปะหลัง”, ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. น. 124-130. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- วริยา โกสม. ผลการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถนะการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- วิชัย รักริทยาศาสตร์. ราวทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- วิเชียร กิจปรีชาวนิช และคณะ. “การจัดจำแนกและศึกษาความหลากหลายทางสรีรวิทยาของ *Rhizopus* ที่แยกได้จากลูกแป้ง”, ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37. น. 244 – 254. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.
- วิลาวัณย์ เจริญตจิระกุล. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2539.
- ศูนย์สถิติแห่งชาติลาว. สมุดสถิติ 40 ปี. 1975-2015. นครหลวงเวียงจันทน์: โรงพิมพ์แห่งชาติลาว, 2558.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **มันสำปะหลัง การจำแนกชนิดและสายพันธุ์มันสำปะหลัง**. <http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=18052>. 28 มีนาคม, 2559.
- สมจิตร อยู่เป็นสุข. ราวีทยา. เชียงใหม่: พงษ์สวัสดิ์การพิมพ์, 2552.
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. **ประโยชน์ของมันสำปะหลัง**.
http://www.thaitapiocastarch.org/th/information/learning_in. 28 มีนาคม, 2559.
- สาโรช คำเจริญ และ เยาวมาลย์ คำเจริญ. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ สุนัข เป็ด และไก่**. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2528.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร**.
http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577. 15 มกราคม, 2559.
- สินชัย พารักษา และ นวลจันทร์ แซ่โอ้ว. “การใช้มันสำปะหลังเพิ่มโปรตีนจากเชื้อราและยีสต์ในอาหารสุกรรุ่น-ขุน”, **วารสารวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์**. 21(1): 25 – 32; มกราคม – มีนาคม, 2530.
- สุกัญญา ทิมทอง. **ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพซากของสุกรรุ่น-ขุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.
- สุพจน์ ไข่เทียมวงศ์. **เทคโนโลยีการหมัก**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2530.
- สุเมธ ไตรพลกษชาติ. **ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ และคุณภาพไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.
- อโณชา เลาศรีรัตนชัย และอุทัย คันโธ. “การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารสุกรระยะรุ่นขุน. รายงานผลงานวิจัยประจำปี. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร: กรมประมงสัตว์ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529.
- อโณทัย คมเสวต. **จุลชีวินวิทยาทางอาหาร**. เชียงใหม่: สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, 2535.
- อุทัย คันโธ. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก**. นครปฐม: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2529.
- Achinewhu, S. C., L. I., Barber and I. O., Ijeoma. “Physicochemical properties and garification (gari yield) of selected cassava cultivars in River State, Nigeria”, **Plant food for human nutrition**. 52: 133-140; April, 1998.
- Aikat. K, Tapas, K. M. and Bimal, C., B. “Decolorization and purification of crude protease from *Rhizopus oryzae* by activated charcoal and its electrophoretic analysis”, **Biotechnology Letters**. 23: 295–301; November, 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Akindahunsi, A. A., G, Oboh and A. A., Oshodi. "Effect of fermenting cassava with *Rhizopus oryzae* on the chemical composition of its flour and gari products", **La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse**. 76: 437–440; March, 1999.
- Association of Official Analytical Chemist, A.O.A.C. **Official Methods of Analysis** 15th ed. Washington D.C: s.n, 1990.
- Bhargav, S., B.P., Panda, M., Ali and S., Javed. "Solid-state fermentation: An Overview", **Chemical Biochemical of Engineering**. 22(1): 49-70; September, 2008.
- Bhuiyan, M. M and P. A., Iji. "Energy value of cassava products in broiler chicken diets with or without enzyme supplementation", **Journal animal Science**. 28(9): 1317-1326; September, 2015.
- Bilgrami, K. S and Verma, R. N. **Physiology of fungi**. New Delhi India: Vikas Publishing House Pvt Ltd, 1978.
- Close, W. H. **Premier Pig Program Manual**. Melbourne, Australia: Alltech Inc, 2002.
- Dana Michael, Van Sambeek. **Evaluation of novel *Rhizopus microsporus* fungal biomass and its impact on growth performance and nutrient digestibility in the diet of nursery pigs**. Master's Thesis: Iowa State University, 2014.
- Deacon, Y. W. **Modern mycology**. Oxford: Blackwell science, 1997.
- Djuma, A., Nonot, S., Sumarno, Dyah, P., and Wahono, S. "Cassava pulp as a biofuel feedstock of an enzymatic hydrolysis process", **Makara Teknologi**. 15(2): 183–192; November, 2011.
- Domsch, K. H and Gams, W. **Compendium of soil fungi**. London: Academic press, 1980.
- Ezeala, D. O. and N., Okoro. "Processing techniques and hydrocyanic acid content of Cassava based human foodstuffs in Nigeria", **Journal of food biochemistry**. 10(2): 125–132; June, 1986.
- FAOSTAT. **Laos cassava production quantity**.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. 10 มกราคม, 2560.
- Food and Agriculture Organization, FAO. **Food Outlook Biannual Report on Global food Market**. <http://www.fao.org/3/a-i5003e.pdf>. May, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Food and Agriculture Organization, FAO. **Impact of Cassava processing on the environment and biodiversity. Strategic environmental assessment volume 5; 2000.** <http://www.fao.org/docrep/007/y2413e/y2413e0d.htm>. 25 January, 2013.
- Garuba, E. O., Fadahunsi, I. F and Fatoki, O. A. "Studies on the nutritional requirements of an Ochratoxin A - Degrading *Rhizopus* sp", **Academia Arena**. 4(1): 14-19, 2012.
- Ghosh, B and Rina, R. R. "Current commercial perspective of *Rhizopus oryzae*: A Review", **Journal of applied sciences**. 11(14): 1-17; December, 2011.
- Hamdy, H. S.. "Production of mini-food by *Aspergillus niger* *Rhizopus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* using orange peels", **Romanian Biotechnological Letter**. 18(1): 7929-7946; October, 2013.
- Huu, H. L. and Terdsak, K. "Effect of yeast fermented cassava pulp (FCP) on nutrient digestibility and nitrogen balance of post-weaning pigs", **Livestock Research for Rural Development**. 26(8): 1-10; August, 2014.
- Hyun, Y., B. F , Wolter and M., Ellis. "Feed intake patterns and growth performance of purebred and crossbred Meishan and Yorkshire pigs", **Journal of Animal Sciences**. 14(6): 837-843; June, 2001.
- Karmakar, M and Rina, R. R. "Saccharification of agro wastes by the Endoglucanase of *Rhizopus oryzae*", **Annals of Biological Research**. 2(1): 201-208, 2011.
- Khempaka, S., W , Molee and M., Guillaume. "Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance carcass traits digestive organs and nutrient digestibility", **Poultry Science Associaton**. 18(3): 497-493; October, 2009.
- Kong, C. and O., Adeola. "Evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets", **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**. 27(7): 917-925; July, 2014 .
- Kosoom, W. et al. "Physical chemical and biological properties of cassava pulp", in **Proceedings of the 47th Kasetsart University Annual Conference**. p:117-124; March, 2009.
- Kuhad, R, C., Rishi, G and Ajay, S. "Microbial cellulases and their industrial applications", **SAGE-Hindawi Access to Research. Enzyme Research**. 40(61): P. 1-10; July, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Lindberg, J. E. "Fiber effects in nutrition and gut health in pigs", **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 5(1): 5-15; March, 2014.
- Lu, W. J et al. "Isolation and characterization of mesophilic cellulose-degrading bacteria from flower stalks-vegetable waste co-composting system", **Journal of General and Applied Microbiology**. 51(6): 353-360; September, 2005.
- Mateos GG et al. "Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice". **Journal of Animal Science**. 82(1): 57-63; February, 2006.
- Mertens, J et al. "Zinc toxicity to nitrification in soil and soilless culture can be predicted with the same Biotic Ligand Model", **Environment Science Technology**. 41: 2992-2997; November, 2006.
- Mienda, B. S., Ahnad, I. and Abdulhamd, U. "Microbiological Features of Solid State fermentation and its Applications – an overview", **Research in Biotechnology**. 2(6): 21-26; February, 2011.
- Morazan, H. et al. D. "Trade-offs among growth performance nutrient digestion and carcass traits when feeding low protein and/or high neutral-detergent fiber diets to growing-finishing pigs", **Animal Feed Science and Technology**. 207: 168-180; June, 2015.
- Murashima, K. et al. "Purification and characterization of new endo-1,4- β -D-glucanases from *Rhizopus oryzae*", **Enzyme and Microbial Technology**. 30: 319-326; October, 2001.
- National Research Council, NRC. **Nutrient Requirements of Swine 10th Revised Edition**, Washington, DC: National Academy Press, 1998.
- Oboh, G and Elusiyan, C. A. "Change in the nutrient and anti-nutrient content of Micro-fungi fermented cassava flour produced from low and medium-cyanide variety of cassava tubers", **African Journal of Biotechnology**. 6(18): 2150-2157; September, 2007.
- Pandey, A. et al. "Solid state fermentation for the production of industrial enzymes", **Special section: Fermentation Science and technology**. 77(1): 149-162; July, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Phong, N. V. et al. "Protein enrichment of cassava by-products using *Aspergillus-niger* and feeding the product to pigs", in **Proceedings of Final National Seminar-Workshop on Sustainable Livestock Production on Local Feed Resources**. 25(7): 1–8; March, 2003.
- Randy, M., Dennis, C and Darrel, V. "Arrangement of fibrils, microfibrils and cellulose in cell walls", in **Botany**. London: McGraw-Hill, 1997.
- Sparringa, R. A. et al. "Effect of temperature pH water activity and CO₂ concentration on growth of *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710", **Journal of Applied Microbiology**. 92(2): 329–337; January, 2002.
- Suksombat, W., Pipat, L. and Pitnart, N. "Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows", **Suranaree. Journal Science Technology**. 14(1): 99–107; October, 2006.
- Vig, A. P. and Amandeep, Walia. "Beneficial effects of *Rhizopus oligosporus* fermentation on reduction of glucosinolates fibre and phytic acid in rapeseed (*Brassica napus*) meal", **Bioresource Technology**. 78: 309–312; January, 2001.
- Wanapat, M. and Sungchhang, K. "Cassava chip (*Manihot esculenta* Crantz) as an energy source for ruminant feeding", **Animal Nutrition**. 1: 266–270; December, 2015.
- Yen. J. T., Varel. V. H and Nienaber. "Metabolic and microbial responses in western crossbred and Meishan growing pigs fed a high-fiber diet", **Journal of Animal Science**. 82(6): 1740–1755; February, 2004.
- Zhang, W. et al. "The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs", **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 4(17): 2–7; January, 2013.
- Zheng, R. Y. et al. "A monograph of *Rhizopus*", **Sydowia an international Journal of mycology**. 59(2): 273–372; December, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการศึกษาเชื้อรา *Rhizopus* sp.

1. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar ที่ใช้คัดแยกเชื้อรา

Potato	200 กรัม
Dextrose	20 กรัม
Agar	17 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

2. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ Mandel Agar ที่ใช้ในการทดสอบเอนไซม์แป้ง

$(\text{NH}_4)\text{SO}_2$	1 กรัม
CMC (Carboxymethy Cellulose)	5 กรัม
Yeast extract	1 กรัม
Agar	10 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

3. สูตรอาหาร Carboxymethy Cellulose, CMC ที่ใช้ในการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.50 กรัม
K_2HPO_4	1.00 กรัม
MgSO_4	0.20 กรัม
KCl	0.50 กรัม
CaCl_2	0.10 กรัม
Yeast extract	0.50 กรัม
Carboxy Methyl Cellulose (CMC)	10.00 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการศึกษาเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03

ตารางที่ ข.1 ค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHV01 RHB02 และ RHS03 ที่เลี้ยงบนอาหาร CMC เป็นเวลา 3 วัน

ซ้ำ	ไอโซเลทของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> spp.	HC
1	RHV01	1.06
1	RHB02	1.06
1	RHS03	1.23
2	RHV01	1.07
2	RHB02	1.06
2	RHS03	1.29
3	RHV01	1.06
3	RHB02	1.07
3	RHS03	1.12
4	RHV01	1.07
4	RHB02	1.05
4	RHS03	1.17
5	RHV01	1.10
5	RHB02	1.08
5	RHS03	1.17

หมายเหตุ ค่า HC (Hydrolysis Capacity) หมายถึง ค่าปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางที่ ข.2 จำนวนสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ไอโซเลท RHV01 RHB02 และ RHS03
เมื่อเลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 5 วัน

ซ้ำ	ไอโซเลทของเชื้อรา <i>Rhizopus</i> spp.	Spore ($\times 10^6$)/มิลลิลิตร
1	RHV01	8.60
1	RHB02	9.60
1	RHS03	17.80
2	RHV01	11.40
2	RHB02	7.40
2	RHS03	17.80
3	RHV01	12.40
3	RHB02	10.00
3	RHS03	16.00
4	RHV01	11.40
4	RHB02	12.60
4	RHS03	14.80
5	RHV01	10.60
5	RHB02	12.00
5	RHS03	17.40

ตารางที่ ข.3 ความยาวก้านสปอร์ ความกว้างอับสปอร์และสปอร์ (ไมครอน) ของเชื้อรา
Rhizopus sp. ไอโซเลท RHS03 ที่เลี้ยงบนแผ่นสไลด์ด้วยอาหาร PDA เป็นเวลา
 5 วัน

ซ้ำ	ความยาวก้านสปอร์	ความกว้างอับสปอร์	ความกว้างสปอร์
1	579.14	135.47	38.07
2	570.84	140.54	52.51
3	644.07	151.72	41.70
4	573.47	140.20	48.94
5	749.06	140.34	50.00
6	591.13	76.98	48.24
7	541.08	131.72	53.23
8	730.23	120.89	49.37
9	651.34	108.17	51.63
10	624.21	180.93	50.01
11	702.13	135.02	51.37
12	642.21	196.24	51.08
13	625.32	148.80	50.17
14	590.82	108.26	51.09
15	573.20	113.64	52.01
16	543.91	120.92	50.16
17	524.13	134.88	50.03
18	498.90	131.73	50.31
19	612.23	138.29	51.02
20	641.01	141.67	50.37

ภาคผนวก ค

ข้อมูลน้ำหนักสุกรทดลองและการกินได้ของสุกรทดลอง

ตารางที่ ค.1 น้ำหมักสุกสุร่นลูกผสมหมยขานในแต่ละสัปดาห์ ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากมัน
สำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลท RHS03

กากมัน หมักเชื้อรา (%)	น้ำหมักสุกสุร่นลูกผสมหมยขานในแต่ละสัปดาห์ (กิโลกรัม)										น้ำหนัก เพิ่ม
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	19.00	22.00	25.50	29.70	33.75	37.75	41.25	45.50	50.00	54.70	35.70
20	19.50	22.30	25.30	29.30	33.00	37.50	41.00	44.25	48.75	53.50	34.00
30	20.00	21.50	24.80	28.80	33.00	37.50	42.75	47.00	51.50	55.75	35.75
40	19.50	23.30	26.80	30.50	34.00	38.00	41.50	45.50	50.00	54.75	35.25
0	20.00	22.80	25.00	28.30	31.75	34.85	37.95	43.00	46.75	49.75	29.75
20	19.50	22.00	24.50	27.50	30.75	33.50	36.25	39.00	41.75	44.50	25.00
30	19.50	23.50	27.30	31.80	35.75	39.25	43.00	47.25	52.25	57.50	38.00
40	20.30	22.00	25.30	29.00	33.00	37.25	40.75	45.50	48.50	52.00	31.70
0	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
20	20.50	23.30	26.30	29.80	33.00	36.50	40.00	43.75	46.75	49.75	29.25
30	20.30	23.00	26.30	29.80	33.25	36.50	39.50	43.00	46.50	50.50	30.20
40	20.50	22.30	25.30	28.50	31.25	34.00	37.25	40.75	44.25	48.50	28.00
0	19.00	22.30	25.80	28.00	31.00	34.65	37.75	41.00	45.25	49.00	30.00
20	19.00	23.00	27.30	31.50	35.00	39.25	44.00	49.75	54.75	58.75	39.75
30	19.00	22.00	24.80	27.00	30.25	33.25	36.50	39.50	43.00	46.00	27.00
40	19.50	22.50	26.30	29.80	33.75	37.50	41.50	45.75	49.75	53.25	33.75
0	20.50	23.50	26.8	30.75	34.00	37.95	41.75	45.75	50.00	54.75	34.25
20	21.00	24.00	27.30	30.80	34.75	39.00	43.25	48.25	53.25	57.25	36.25
30	20.00	23.50	26.50	30.25	33.50	36.75	40.50	44.00	48.50	52.25	32.25
40	19.30	23.30	27.00	31.00	35.00	39.25	43.75	47.50	51.25	55.50	36.20

หมายเหตุ: " " หมายถึงสัตว์ทดลองป่วยและวิเคราะห์ข้อมูลแบบข้อมูลหาย (missing data)

ตารางที่ ค.2 อัตราการกินได้เฉลี่ยแต่ละสัปดาห์การกินอาหารคิดเป็นวัตถุดิบ

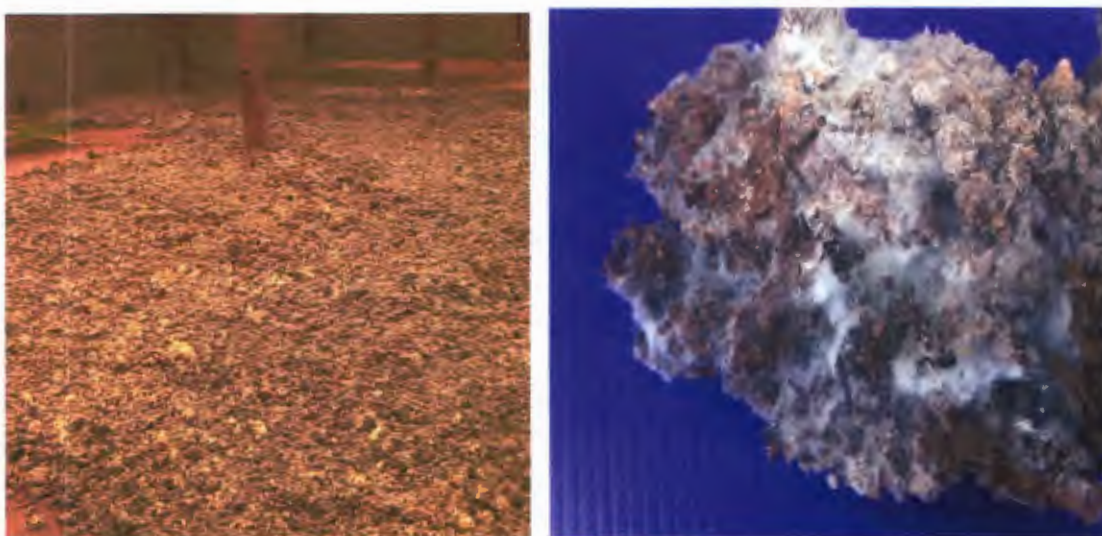
กากมัน หมักเชื้อรา (%)	อัตราการกินได้เฉลี่ยของสุกรรุ่นลูกผสมหมอยานในแต่ละสัปดาห์ (กรัมต่อ วัน)									เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	898	1,388	1,476	1,505	1,589	1,538	1,741	1,737	1,796	1,497
20	919	1,203	1,391	1,460	1,547	1,662	1,738	1,981	2,025	1,514
30	874	1,172	1,521	1,631	1,664	1,635	1,701	1,828	1,900	1,536
40	1,077	1,360	1,450	1,552	1,635	1,348	1,815	1,708	2,008	1,617
0	1,090	1,069	1,490	1,521	1,698	1,575	1,743	1,747	1,667	1,487
20	1,003	1,149	1,277	1,491	1,631	1,583	1,542	1,423	1,331	1,348
30	1,059	1,402	1,554	1,549	1,689	1,624	1,778	1,852	2,172	1,648
40	970	1,268	1,305	1,471	1,563	1,440	1,621	1,569	1,841	1,494
0	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
20	971	1,203	1,563	1,565	1,671	1,389	1,478	1,565	1,522	1,467
30	1,034	1,349	1,504	1,726	1,654	1,355	1,368	1,422	1,564	1,421
40	848	1,136	1,440	1,540	1,449	1,644	1,815	1,703	1,831	1,501
0	878	1,215	1,299	1,564	1,584	1,459	1,736	1,746	1,852	1,459
20	1,008	1,326	1,540	1,642	1,753	1,528	1,879	1,998	2,045	1,669
30	976	1,057	1,320	1,422	1,477	1,334	1,534	1,652	1,581	1,417
40	1,095	1,385	1,562	1,736	1,563	1,539	1,657	1,503	1,681	1,513
0	976	1,192	1,281	1,550	1,543	1,433	1,737	1,864	1,980	1,483
20	952	1,239	1,516	1,775	1,662	1,516	1,883	1,927	1,967	1,663
30	1,046	1,309	1,532	1,667	1,607	1,630	1,789	1,968	1,801	1,539
40	970	1,225	1,383	1,754	1,692	1,640	1,739	1,736	2,077	1,551

หมายเหตุ: " " หมายถึงสัตว์ทดลองป่วยและวิเคราะห์ข้อมูลแบบข้อมูลหาย (missing data)

ภาคผนวก ง
ภาพการทดลอง



ภาพที่ ง.1 การเตรียมหัวเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03 ด้วยข้าว



ภาพที่ ง.2 การเตรียมหัวเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซเลต RHS03 ด้วยกากแป้ง
มันสำปะหลัง



ภาพที่ ง.3 อาหารที่ผสมกากมันแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ไอโซลเลท RHS03 แต่ละระดับ

- ก. อาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 0 (ควบคุม)
- ข. อาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 20
- ค. อาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 30
- ง. อาหารผสมกากแป้งมันสำปะหลังหมักเชื้อรา ร้อยละ 40



ภาพที่ ง.4 คลอกสัตว์ทดลองและลักษณะสุกรทดลอง



ภาพที่ ง.5 การชั่งน้ำหนักสุกรทดลอง



ภาพที่ ง.6 สุกรรุ่นลูกผสม (เปียเทรน x แลนด์เรซ x เหมยซาน) ที่เลี้ยงบนคลอกทดสอบการย่อยได้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายสุขสันต์ ไชยวงศ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ 2545 – 2550 ศึกษาที่มหาวิทยาลัยจำปาสัก ประเทศลาว วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	สุขสันต์ ไชยวงศ์ วัชรพงษ์ วัฒนกุล และยุวดี ชูประภาวรรณ. ผลของ กากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา <i>Rhizopus oryzae</i> ต่อการย่อยได้และ สมรรถนะการผลิตสุกรรุ้นลูกผสมหมอยาน. ใน <u>การประชุมวิชาการ ระดับชาติ มอ.วิจัย ครั้งที่ 10</u> น. 108 -118. ระหว่างวันที่ 7-8 กรกฎาคม 2559 โรงแรมยูเพลส จังหวัดอุบลราชธานี.
ประวัติการทำงาน	พ.ศ 2551 – ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยจำปาสัก กระทรวงศึกษาธิการและกีฬา สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ตำแหน่ง	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยจำปาสัก คณะเกษตรศาสตร์และป่าไม้ แขวงจำปาสัก ประเทศลาว โทรศัพท์ 856-20 9680 1103