รหัสโครงการ SUT 3-303-54-36-19

รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับไก่ไข่

(Enhancing the utilization of cassava pulp as an alternative energy source for laying hens)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 3-303-54-36-19

รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับไก่ไข่

(Enhancing the utilization of cassava pulp as an alternative energy source for laying hens)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. สุทิศา เข็มผะกา

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. วิทธวัช โมฬี

นายเฉลิมชัย หอมตา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ 2554 ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในงานทดลอง ขอขอบคุณ คุณสุภัตรา โอกระโทก คุณลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง คุณประพจน์ มลิวัลย์ และคุณทับทิม สำแดงไชย ที่ได้ทำหน้าที่ผู้ช่วยวิจัย และจัดทำรายงานฉบับนี้ด้วย

สุทิศา เข็มผะกา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดเศษเหลือ คือ กากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละปี กากมันสำปะหลังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (50 – 70%) แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับไก่ไข่ อย่างไรก็ตามเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังอาจมีประโยชน์ต่อการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงและการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในรูปแบบต่าง ๆ คือ กากมันสำปะหลังปกติ กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ในสูตรอาหารไก่ไข่ โดยแบ่งออกเป็น 6 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 48 ตัว เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว และสุ่มไก่ไข่แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5, 10, 15, 20 และ 25% ให้อาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 10 วัน ทำการเก็บมูลในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลองเพื่อนำไปประเมินหาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น (25%) ส่งผลให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง ($P<0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนียในไก่ไข่ ใช้ไก่ไข่พันธุ์อิซ่า บราวน์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 288 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 6 กลุ่มเพื่อรับอาหารทดลอง (สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และกากมันสำปะหลัง 5 กลุ่ม : 5, 10, 15, 20 และ 25%) ไก่ไข่ทั้งหมดได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพไข่ ($P>0.05$) ยกเว้นสีของไข่แดงมีการลดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ($P<0.01$) ส่วนน้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง และมวลไข่ลดลงเมื่อใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ($P<0.05$) กากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์กลุ่ม *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. และสามารถเพิ่มกรดโพรพิโอนิก และกรดอะซิติก ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างของจุลินทรีย์กลุ่ม *E. coli* และปริมาณแอมโมเนีย กากมันสำปะหลังไม่มีผลกระทบต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาและยูเรียไนโตรเจนในเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

การทดลองที่ 3 ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 46 สัปดาห์ จำนวน 48 ตัว เลี้ยงในกรงขังเดี่ยว จากนั้นทำการแบ่งไก่ออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ๆ ละ 1 ตัว ให้น้ำและอาหารแบบเต็มที่เป็นเวลา 10 วัน อาหารทดลองมี 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกลุ่มทดแทนด้วยกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 8, 16, 24, 32 และ 40% ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 32% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ($P>0.05$) แต่เมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักในระดับที่สูงขึ้น (40%) ส่งผลให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง ($P<0.05$)

การทดลองที่ 4 ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 54 สัปดาห์ จำนวน 192 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อรับอาหารทดลอง (สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และสูตรทดแทนด้วยกากมันสำปะหลังหมัก 3 กลุ่ม : 16, 24 และ 32%) เลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักทดแทนทุกระดับ ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักไข่ ($P>0.05$) ผลผลิตไข่ลดลงเมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32% ($P<0.05$) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารมวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของไก่ไข่ลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังหมักไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไข่ ($P>0.05$) ยกเว้นสีของไข่แดงมีการลดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ($P<0.05$) กากมันสำปะหลังหมักสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ประมาณ 5% แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) ถึงแม้ว่ากากมันสำปะหลังหมักไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้าย แต่พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตกรดอะซิติกและกรดบิวไทริกเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) สำหรับค่าทางชีวเคมีของโลหิต พบว่ากากมันสำปะหลังหมักไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ AST และ ALT ปริมาณยูเรียไนโตรเจน คอเลสเตอรอลในพลาสมา และภูมิคุ้มกันรวมของไก่ไข่ ($P>0.05$) จากการทดลองสรุปได้ว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ได้ถึงระดับ 24% ในอาหารไก่ไข่ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่

การทดลองที่ 5 ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 55 สัปดาห์ จำนวน 45 ตัว เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว และสุ่มไก่ไข่แบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ อาหารทดลองมี 9 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 20, 25, 30 และ 35% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อรวมที่ประกอบไปด้วยเซลลูเลส กลูคาเนส และเซลลูเลส ที่ระดับ 0.10 และ 0.15% ให้อาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 35% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวมที่ระดับ 0.10 และ 0.15% ไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง และเยื่อใย ($P>0.05$) ส่วนค่าการย่อยได้ของสารอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน มีค่าลดลงตามระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 20% โดยการเสริม

เอนไซม์รวมที่ระดับ 0.10 และ 0.15% มีผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะไม่แตกต่างกัน (P>0.05)

การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์เยื่อใยรวม ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนียในไก่ไข่ ใช้ไก่ไข่พันธุ์อิซ่า บราวน์ อายุ 32 สัปดาห์ จำนวน 336 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 7 กลุ่ม เพื่อรับอาหารทดลอง ได้แก่ สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 20, 25 และ 30% ร่วมกับเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 0.10 และ 0.15% ไก่ไข่ทั้งหมดได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม 0.10 – 0.15% ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน มวลไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) และคุณภาพไข่ (P>0.05) ยกเว้นสีของไข่แดงมีการลดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (P<0.01) การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.10% สามารถเพิ่มปริมาณกรดอะซิติกได้สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 30% และเสริมเอนไซม์ 0.15% (P<0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในส่วนของกรดโพรพิโอนิก และกรดบิวไทริก (P>0.05)

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า กากมันสำปะหลังปกติ กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20, 24 และ 30% ตามลำดับ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ABSTRACT

The cassava starch industry generates a large amount of waste in the form of cassava pulp annually. The pulp contains a lot of starch (50 – 70%), but contains low amounts of protein and high fiber which limits its use as feedstuff for laying hens. However, the crude fiber content in cassava pulp may have positive effects on lower egg yolk cholesterol and microbial population change. Therefore, this research was aimed to study the potential use of dried cassava pulp (DCP) in various forms such as regular DCP, fermented cassava pulp (FCP) and DCP supplemented with enzymes in laying hen diets. This study was divided into 6 experiments.

Experiment 1, a total of 48 laying hens (Isa Brown) aged 30 weeks were placed in individual cages and randomly allocated to 6 dietary treatments with 8 replicates in a Completely Randomized Design (CRD). Six dietary treatments were given as follows: control and five DCP diets at levels of 5, 10, 15, 20 and 25%. Feed and water were provided *ad libitum* for 10 days. The excreta were collected in the last four days of the experimental period and then were measured for nutrient digestibility and retention. The results showed that DCP can be used up to 20% in the diets without having negative effects on nutrient digestibility and retention ($P>0.05$). However, when DCP was used at the level of 25%, it resulted in decreased nutrient digestibility and retention ($P<0.05$).

Experiment 2 was conducted to investigate the effect of DCP on productive performance, egg quality, egg yolk cholesterol, microbial populations, volatile fatty acid and ammonia production in laying hens. A total of 288 laying hens (Isa Brown) aged 30 weeks were randomly allocated to 6 dietary treatments (one control and five DCP diets at 5, 10, 15, 20 and 25%). All chickens were given access to feed and water *ad libitum* for 12 weeks. The results showed that diets incorporated with 20% of DCP had no significant effects on egg production, egg weight, feed intake, feed conversion ratio and egg quality ($P>0.05$), except for egg yolk color being decreased with an increase of DCP in the diets ($P<0.01$). Egg weight, yolk weight and egg mass were significantly decreased when DCP was used at the level of 25% ($P<0.05$). However, the use of DCP at levels of 20 – 25% showed a positive effect on decreased egg yolk cholesterol ($P<0.05$). DCP can increase *Lactobacillus spp.* and

Bifidobacterium spp. populations (P<0.05), and acetic acid and propionic acid (P<0.05), but there was no significant effect on *E. coli* and ammonia production. DCP had no effects on plasma cholesterol and blood urea nitrogen when compared to the control group (P>0.05).

Experiment 3, 48 laying hens (Isa brown) aged 46 weeks were placed in individual cages and randomly distributed to 6 groups with 8 replicates of 1 bird. Feed and water were provided *ad libitum* for 10 days. Six dietary treatments were given as follows: control and FCP substituted diets at 8, 16, 24, 32 and 40%, respectively. The results showed that FCP can be used in laying hen diets up to 32% without showing negative effects on nutrient digestibility and retention (P>0.05). However, when FCP was used at a higher level (40%), it resulted in decreased nutrient digestibility and retention (P<0.05).

Experiment 4, a total of 192 laying hens (Isa brown) aged 54 weeks were randomly distributed to 4 dietary treatments (control and three fermented cassava pulp substituted diets at 16, 24 and 32%) through 8 weeks. The results showed that all FCP substitution levels had no effects on feed intake and egg weight (P>0.05). Egg production was significantly decreased when FCP was used at levels of 32%. Feed conversion ratio, egg mass, and protein efficiency ratio decreased linearly (P<0.05) as FCP was increased in the diets. However, FCP had no detrimental effect on egg quality, except for the egg yolk color being decreased with increasing the pulp in diets (P<0.05). The use of FCP decreased egg yolk cholesterol by approximately 5% when compared to the control diet, but no significant differences were found (P>0.05). Although FCP showed no effect on microbial population changes in the hind gut (P>0.05), it increased acetic acid and butyric acid production (P<0.05). Regarding the biochemical blood profile, it was found that FCP had no effect on the activities of AST and ALT enzymes, blood urea nitrogen, plasma cholesterol and total immunoglobulin in laying hens (P>0.05).

Experiment 5, 45 laying hens (Isa Brown) aged 45 weeks were placed in individual cages and randomly allocated to 9 groups with 5 replicates. Nine dietary treatments were given as follows: control and DCP at 20, 25, 30, and 35% supplemented with mixed enzymes (cellulose, glucanase and xylanase) at 0.10 and 0.15%. Feed and water were provided *ad libitum* for 10 days. The results showed that

the use of DCP at 20 – 35% added with enzymes (0.10 and 0.15%) had no negative effects on dry matter and crude fiber digestibilities (P>0.05). While organic matter digestibility and nitrogen retention decreased as DCP was increased in diets, but there were no significant differences in laying hen group received DCP up to 20%. The supplementation of mixed enzymes at 0.10 and 0.15% showed the similar results on nutrient digestibility and retention (P>0.05).

Experiment 6 was conducted to investigate the effect of DCP supplemented with mixed enzymes on productive performance, egg quality, egg yolk cholesterol, microbial populations, volatile fatty acid and ammonia production in laying hens. A total of 336 laying hens (Isa Brown) aged 32 weeks were randomly allocated to 7 dietary treatments (control and DCP substituted diets at 20, 25 and 30%) supplemented with mixed enzymes (0.10 and 0.15%). All chickens were given access to feed and water *ad libitum* for 12 weeks. The results showed that diets incorporated with 20 – 30% of DCP and supplemented with mixed enzymes at 0.10 – 0.15% had no significant effects on egg production, egg weight, feed intake, egg mass, feed conversion ratio, protein efficiency ratio and egg quality (P>0.05), except for egg yolk color being decreased with an increase of DCP in the diets (P<0.01). The use of DCP at 20% supplemented with 0.10% increased acetic acid production compared to control and DCP 30% supplemented with 0.15% (P<0.05), but there were no significant effects on propionic acid and butyric acid.

In conclusion, it is suggested that regular DCP, FCP and DCP supplemented with enzymes can be used an energy source in laying hen diets up to 20, 24 and 30%, respectively without showing negative effects on nutrient digestibility and retention, productive performance and egg quality.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย	5
2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	9
2.3 กากมันสำปะหลัง	9
2.4 โครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง	10
2.5 เยื่อใยที่พบในกากมันสำปะหลัง	12
2.6 การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก	13
2.7 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีการหมัก	15
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก	16
2.9 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์	20
2.10 ผลของการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังหมักในอาหารสัตว์ปีก	24
2.11 เอนไซม์ (enzyme)	26
2.12 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อ	29
2.13 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่ไข่	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ	37

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย 41
3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ 47
3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร กรดไขมันระเหยได้และแอมโนเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต 53
3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ 56
3.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารในไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต 57
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1 การทดลองที่ 1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ 60
4.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย 61
4.3. การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ 74
4.4 การทดลองที่ 4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย 78
4.5 การทดลองที่ 5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ 88
4.6 การทดลองที่ 6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต 90

บทที่ 5 บทสรุป
5.1 สรุปผลการวิจัย 98
5.2 ข้อเสนอแนะ 99
บรรณานุกรม 101
ประวัติผู้วิจัย 116

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พื้นที่ปลูกและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย	6
ตารางที่ 2.2	ปริมาณพื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละจังหวัด	7
ตารางที่ 2.3	ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยในแต่ละปี	7
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง	10
ตารางที่ 2.5	ชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง (on dry matter basis)	13
ตารางที่ 2.6	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก	14
ตารางที่ 2.7	องค์ประกอบทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ	22
ตารางที่ 2.8	องค์ประกอบทางโภชนะของผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.9	ผลของการใช้มันสำปะหลังหมักและกากมันสำปะหลังหมักในอาหารสัตว์ปีก	25
ตารางที่ 2.10	ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อค่าความหนืดของอาหารในหลอดทดลอง	30
ตารางที่ 2.11	ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในหลอดทดลอง	31
ตารางที่ 2.12	ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อ	32
ตารางที่ 2.13	ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ	33
ตารางที่ 2.14	ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่	35
ตารางที่ 3.1	ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2	39
ตารางที่ 3.2	ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 3 และ 4	55
ตารางที่ 3.3	ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 5 และ 6	59
ตารางที่ 4.1	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ	61
ตารางที่ 4.2	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต	63
ตารางที่ 4.3	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่	65
ตารางที่ 4.4	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและไข่แดง	69
ตารางที่ 4.5	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.6	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (μmol/g)	72
ตารางที่ 4.7	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ	73
ตารางที่ 4.8	องค์ประกอบทางโภชนะของข้าวโพด กากมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังหมัก	76
ตารางที่ 4.9	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ	78
ตารางที่ 4.10	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิตมวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	80
ตารางที่ 4.11	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่	83
ตารางที่ 4.12	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม	85
ตารางที่ 4.13	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต	86
ตารางที่ 4.14	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ	87
ตารางที่ 4.15	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่[1]	89
ตารางที่ 4.16	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิต มวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของไก่ไข่	92
ตารางที่ 4.17	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่	93
ตารางที่ 4.18	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ (mg/whole egg)	94
ตารางที่ 4.19	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ค่า pH ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม และค่าชีวเคมีของโลหิต	95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.20 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่
ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 97

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	เนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย	6
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างของลินามาริน โลทอสตราลิน และกระบวนการไฮโดรไลซีสลินามาริน	8
ภาพที่ 2.3	กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	11
ภาพที่ 2.4	โครงสร้างของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน	12
ภาพที่ 2.5	การเพิ่มโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในวัสดุหมัก	15
ภาพที่ 2.6	ลักษณะโครงสร้างของเชื้อรา *Aspergillus*	19
ภาพที่ 2.7	กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (lock and key model)	26
ภาพที่ 2.8	กลไกการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส	27
ภาพที่ 2.9	กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส	28
ภาพที่ 3.1	ลักษณะของเชื้อรา *A. oryzae* และสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*	49
ภาพที่ 3.2	ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 15 นาที (ก) และหัวเชื้อรา *A. oryzae* ที่เจริญเติบโตในข้าวสาร (ข)	49
ภาพที่ 3.3	แสดงอุปกรณ์ภายนอกเครื่องหมักกากมันสำปะหลังประกอบด้วยฮีตเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์ ชุดควบคุมอุณหภูมิ และฉนวนกันความร้อน	50
ภาพที่ 3.4	ลักษณะภายในเครื่องหมักกากมันสำปะหลังที่มีใบพัดหรือใบกวน	50
ภาพที่ 3.5	แสดงกากมันสำปะหลังที่ผ่านการนึ่งด้วยเครื่องหมักที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ก) เครื่องหมักกากมันสำปะหลังโดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 4 วัน (ข)	51
ภาพที่ 4.1	ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% ในอาหาร	67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ไข่ของประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การเลี้ยงที่จะให้ผลตอบแทนที่ดีต้องอาศัยหลายปัจจัยรวมกันไม่ว่าจะเป็นการจัดการด้านอาหาร สภาพแวดล้อม การเลี้ยงดู และการป้องกันโรค อาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงไก่ไข่ ซึ่งเป็นต้นทุนในการผลิตประมาณ 70 – 80% ของต้นทุนทั้งหมด ที่ผ่านมาเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่มักประสบปัญหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ขาด แคลน และมีราคาแพง ดังนั้นการศึกษาวิจัย เพื่อหาวัตถุดิบทดแทนที่เป็นเศษเหลือหรือผลพลอยได้ทั้งจากภาคการเกษตรหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในท้องถิ่นเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่ไข่ น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังได้เป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยผลิตได้ประมาณ 21 – 30 ล้านตันต่อปี ปริมาณการผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี มันสำปะหลังประมาณ 45% จะถูกนำไปใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จากกระบวนการผลิตจะมีเศษเหลือหรือผลพลอยได้เป็นกากมันสำปะหลัง (cassava pulp) จำนวนมาก ซึ่งกากมันสำปะหลังยังมีโภชนะเหลืออยู่ประกอบด้วย แป้ง 53.55% เถ้า 2.83% โปรตีน 1.98% เยื่อใย 13.59% และไขมัน 0.13% (Khempaka et al., 2009) จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 5 – 10% (ปรีดาและ คณะ, 2552; Khempaka et al., 2009) และในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ 15% (สุเมธ และคณะ, 2552; Chauynarong et al., 2010) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ รวมถึงมีผลทำให้สีไข่แดงซีดลง นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณโปรตีนต่ำ และเยื่อใยสูง ดังนั้นหากมีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมัก (fermentation) เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน หรือการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (fybrolytic enzymes) น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังได้ มากขึ้น

กระบวนการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำ โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะมีปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ชนิดของจุลินทรีย์ สารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ และสภาวะการหมัก เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถนำมาใช้หมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ และพบว่าสามารถเพิ่มคุณค่า ทางโภชนะโดยเฉพาะเพิ่มโปรตีนให้สูงขึ้นได้ เช่น *Saccharomyces cerevisiae, Candida utilis Aspergillus niger* และ *Aspergillus oryzae* (Obo et al., 2002; Oboh and Akindahunsi, 2005) โดย Thongkratok et al. (2010) รายงานว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae*

ร่วมกับยูเรียที่ระดับ 0.75% หมักเป็นเวลา 4 วันสามารถเพิ่มโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนในกากมันสำปะหลังหมักได้สูงสุด จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัยการใช้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น กากถั่วเหลืองหมัก กากผลไม้หมัก และมันสำปะหลังหมัก พบว่าสามารถใช้ในสูตรอาหารได้ในระดับที่มากกว่าปกติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และสมรรถนะการเจริญเติบโตของทั้งไก่เนื้อ และเป็ด (ทรงศักดิ์, 2543; อุษณีย์ภรณ์ และคณะ, 2550; Feng et al., 2007a; Feng et al., 2007b; Apata, 2011) นอกจากนี้ ฤทัยรัตน์ (2553) ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถใช้ได้ที่ระดับสูงขึ้นถึง 16% เมื่อเปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติที่ใช้ได้เพียง 5 – 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของ ไก่เนื้อ ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารได้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ยังมีข้อมูลค่อนข้างน้อย

กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูงถึง 10.38 – 15.26% โดยเยื่อใยส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) และอาจเป็นข้อจำกัดทำให้การใช้ได้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย น่าจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่นิยมใช้เสริมในอาหารที่มีเยื่อใยสูง เช่น เอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และกลูคาเนส เป็นต้น ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มระดับการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบคุณภาพต่ำในสูตรอาหารได้สูงขึ้น (ธงชาติ, 2556; Mathlouthi et al., 2002; Meng et al., 2004 และ 2005) อย่างไรก็ตามจากการรวบรวมเอกสารพบว่า เยื่อใยจากพืชหัวและพืชตระกูลถั่ว มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยมีบทบาทในการป้องกันโรคได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด มะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคเบาหวาน และลดคอเลสเตอรอลในเลือด (Charina, 2010; Kritchevsky, 1978; Krichevsky and Story, 1974) Khempaka et al. (2009) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อสามารถลดไขมันในช่องท้องได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มที่ศึกษาเกี่ยวกับเยื่อใยประเภทที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำทั้งในคนและสัตว์ โดยพบว่าเยื่อใยมีส่วนช่วยในการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารดีขึ้น (Hetland and Choct, 2003) รวมถึงเป็นอาหารของจุลินทรีย์บริเวณลำไส้ส่วนท้าย เช่นเดียวกับในกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยทั้งประเภทที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำอยู่ ซึ่งน่าจะช่วยส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร และอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และเป็นประโยชน์ทางอ้อมในการลดการปล่อยแอมโมเนียสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในแง่ของการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคและลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม ยังมีข้อมูลการศึกษาน้อย ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อเพิ่มทางเลือกของผู้เลี้ยงสัตว์ในการเลือกใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ รวมทั้งเป็นการนำเศษเหลือที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ในรูปแบบต่าง ๆ คือกากมันสำปะหลังตากแห้ง กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของการใช้กากมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* และกากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในสูตรอาหารไก่ไข่

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย กรดผลิตไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

เนื่องจากกากมันสำปะหลัง ยังมีโภชนะต่างๆ โดยเฉพาะแป้ง เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นกากมันสำปะหลังน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่เพื่อทดแทนข้าวโพดได้ แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่ต่ำ และมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบที่สูง การปรับปรุงกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน หรือการใช้กากหมักสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย น่าจะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังได้สูงขึ้น นอกจากนี้เยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง อาจส่งผลดีต่อการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง และเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะนำกากมันปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงาน เพื่อลดการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหารไก่ไข่ โดยศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในรูปแบบต่างๆ (กากมันสำปะหลังตากแห้ง กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์) ในสูตรอาหารไก่ไข่ โดยศึกษาผลต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเจริญของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร กรดไขมันระเหยได้ และการผลิตแอมโมเนีย โดยกากมันสำปะหลังมีโปรตีนอยู่ในช่วง 1.55 – 3.42% เยื่อใย 10.38 – 15.26% และแป้ง 47.97 – 68.89%

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานชนิดใหม่ที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในอาหารไก่ไข่ แก้ปัญหาเมื่อแหล่งพลังงานหลักขาดแคลน หรือมีราคาแพง

1.5.2 ทราบถึงระดับที่เหมาะสมในการใช้กากมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์เพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่ไข่

1.5.3 เพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นเศษเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ รวมถึงยังช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในการกำจัดเศษเหลือเหล่านี้ได้อีกทางหนึ่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งในแต่ละปีมีปริมาณการผลิตจำนวนมาก จากพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังทั้งหมดของประเทศประมาณ 7 – 8 ล้านไร่ และสามารถผลิตหัวมันสำปะหลังสดได้ประมาณ 21 – 30 ล้านตันต่อปี มีผลผลิตเฉลี่ย 3.0 – 3.7 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่สำหรับเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศไทย (ภาพที่ 2.1) ในปี 2555 มีเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง 4,366,997 ไร่ คิดเป็น 55% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด โดยเฉพาะจังหวัดนครราชสีมามีพื้นที่ในการเพาะปลูกและผลผลิตมันสำปะหลังมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดอื่น โดยปี 2556 มีการคาดการณ์ว่าจังหวัดนครราชสีมาจะมีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังประมาณ 1,771,765 ไร่ สามารถผลิตหัวมันสำปะหลังสดได้ประมาณ 6,236,613 ตัน (ตารางที่ 2.2)

หัวมันสำปะหลังสดจะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น มันเส้น (cassava chips) มันอัดเม็ด (cassava pellets) แป้งมันสำปะหลัง (cassava flour) และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะนำมาใช้ประโยชน์ทั้งภายในประเทศ และส่งออกนอกประเทศในรูปแบบต่างๆ (ตารางที่ 2.3) โดยประเทศไทยนั้นมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก และปริมาณการผลิตยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี นอกจากนี้ในแต่ละปีผลผลิตของมันสำปะหลังประมาณ 45% จะถูกนำมาผลิตแป้งมันสำปะหลัง และจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือประมาณ 10 – 15% ของหัวมันสำปะหลังสด (Sriroth et al., 2000) มาจากการล้าง การปอกเปลือก และการสกัดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย น้ำทิ้ง เศษดินและทราย เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง (cassava pulp) ประมาณ 3 – 6% ของปริมาณเศษเหลือทั้งหมด

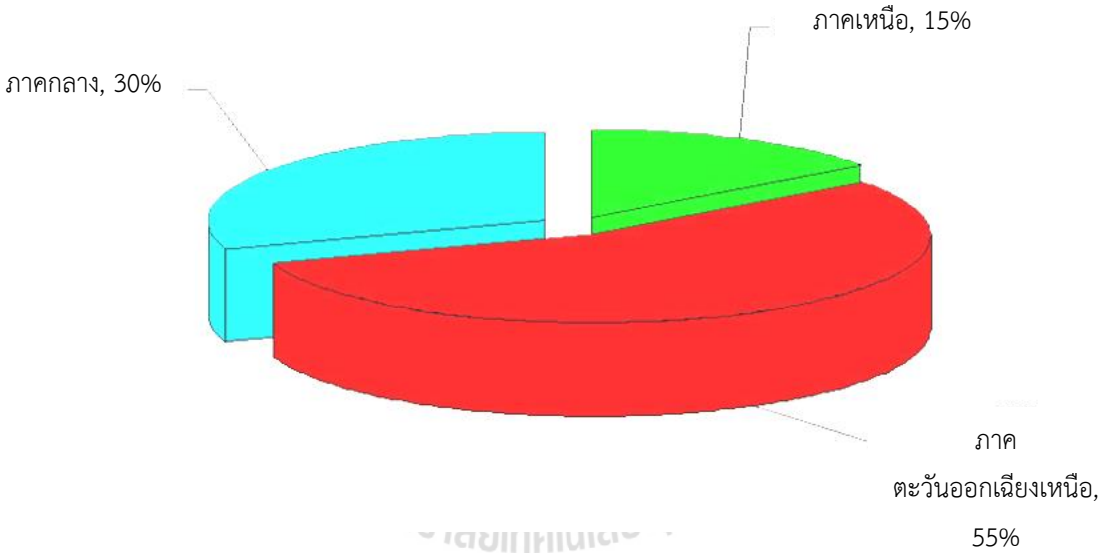
มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมสำหรับการใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งคุณค่าทางโภชนะของมันสำปะหลังประกอบด้วย แป้ง 70 – 80% เถ้า 3 – 5% โปรตีน 2.5% เยื่อใย 3 – 3.5% และไขมัน 0.5% โดยมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีสารประกอบจำพวกแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว แป้งในมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อน (soft starch) ทำให้สัตว์สามารถย่อยได้เร็ว เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งอ่อนจะดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ย่อยแป้งได้เร็วขึ้น ส่งผลดีต่อตัวสัตว์เพราะสัตว์จะเกิดความเครียดจากการย่อยอาหารน้อยลง นอกจากนี้มันสำปะหลังมีการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา เช่น อะฟลาทอกซินและซีลาลีโนน ในปริมาณที่น้อยหรือไม่มีเลยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด เนื่องจากมันสำปะหลังไม่เป็นอาหารที่ดีสำหรับเชื้อ *Aspergillus flavus* ทำให้มีโอกาสสร้างอะฟลาทอกซินน้อย (อุทัย, 2546; สาโรช, 2547)

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ปลูกและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

ประจำปี	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (ตัน)	ผลผลิตหัวมันสด (ตัน)
2555/56*	7,905,056	3.485	27,547,242
2554/55	7,911,323	3.362	26,601,090
2553/54	7,096,173	3.088	21,912,416
2552/53	7,302,839	3.013	22,005,740
2551/52	8,292,146	3.628	30,088,024
2550/51	7.397,098	3.401	25,155,797
2549/50	7,201,243	3.668	26,411,233

หมายเหตุ: [1] ตัวเลขผลสำรวจของคณะสำรวจมันสำปะหลัง 4 สมาคม

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2555)



ภาพที่ 2.1 เนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณพื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)		ผลผลิตหัวมันสด (ตัน)	
	ปี 2554/55	ปี 2555/56	ปี 2554/55	ปี 2555/56
นครราชสีมา	1,759,167	1,771,765	5,982,857	6,236,613
บุรีรัมย์	200,978	199,308	683,524	665,689
ชัยภูมิ	368,864	393,574	1,227,857	1,358,617
สุรินทร์	58,812	59,519	184,906	188,497
ขอนแก่น	209,088	201,354	655,484	668,697
ศรีสะเกษ	108,584	108,366	365,921	392,285
อุบลราชธานี	209,828	222,949	677,736	755,797

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2555)

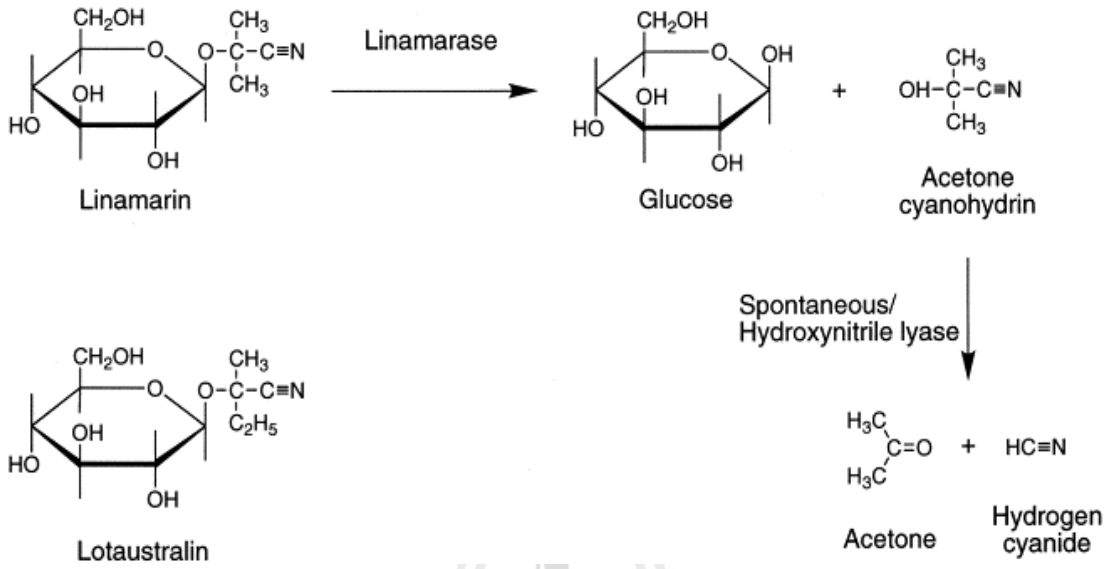
ตารางที่ 2.3 ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยในแต่ละปี

ประจำปี	มันเส้น (ตัน)	มันอัดเม็ด (ตัน)	แป้งมันสำปะหลัง (ตัน)
2549/50	3,867,625	1,365,622	1,961,096
2550/51	1,263,729	2,021,591	2,127,110
2551/52	2,887,275	300,818	2,120,408
2552/53	5,137,317	235,250	2,603,115
2553/54	3,268,213	31,224	2,493,412
2554/55	4,453,061	48,988	2,784,961

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2555)

อย่างไรก็ตามหัวมันสำปะหลังสดไม่ควรนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีสารพิษไซยาไนด์ (cyanide) หรือไซยาโนจินิค ไกลโคไซด์ (cyanogenic glycosides) ในระดับที่สูงซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสัตว์ (อุทัย, 2529) สารหลักที่ก่อให้เกิดพิษไซยาโนจินิค ไกลโคไซด์ 2 ชนิด คือ ลินามาริน (linamarin) ประมาณ 93% และโลทอสตราลิน (lotaustralin) ประมาณ 7% สารไซยาโนจินิค ไกลโคไซด์สร้างขึ้นจากกรดอะมิโน 2 ตัว คือ วาลีน (valine) และไอโซลิวซีน (isoleucine) จากการสังเคราะห์ของวาลีนจะได้เป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอซิโตนไซยาโนไฮด์ริน (acetone cyanohydrin) หรือเรียกว่า ลินามาริน และการสังเคราะห์ไอโซลิวซีนจะได้โลทอสตราลิน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) สารประกอบที่สังเคราะห์ได้นี้จะอยู่ในเนื้อเยื่อ เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย เช่น การบด หรือการสับหัวมัน จะมีการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้โดยกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) กับเอนไซม์ (เสริมศักดิ์, 2546) และการเร่งปฏิกิริยาการสลายลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเลส

(linamerase) จะได้กรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid; HCN) กลูโคส (glucose) และอะซีโตน (acetone) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สำหรับการย่อยสลายโลทอสตราลินจะได้กรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) กลูโคส (glucose) และบิวทาโนน (butanone)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของลินามาริน โลทอสตราลิน และกระบวนการไฮโดรไลซีสลินามาริน
ที่มา: Yeoh (1998)

กรดไฮโดรไซยานิคเป็นสารพิษที่มีการสลายตัวได้ง่ายสามารถระเหยไปในอากาศ ทำให้ระดับของกรดไฮโดรไซยานิคในชิ้นมันสำปะหลังลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ (สกล, 2547; เสกสม และคณะ, 2550) นอกจากนี้การทำมันสำปะหลังหมักก็เป็นอีกวิธีที่สามารถลดสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคได้ (อุทัย, 2529) ดังนั้นการนำมันสำปะหลังมาเลี้ยงสัตว์ต้องทำการลดสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคก่อน

2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลายชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง มันเส้น และมันอัดเม็ดเป็นต้น โดยส่วนใหญ่หัวมันสำปะหลังสดที่ผลิตได้ในประเทศไทยจะนำมาแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเกิดผลพลอยได้คือ เปลือก ราก และกากมันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสลัดแห้ง (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) มีขั้นตอนดังนี้ (กรมโรงงงานอุตสาหกรรม, 2551)

1. การเตรียมหัวมันสำปะหลังและการทำความสะอาด

การนำหัวมันสำปะหลังสดส่งไปยังเครื่องร่อนที่มีตะแกรงสำหรับร่อนดิน และทราย จากนั้นหัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องล้าง (root washer) เพื่อทำความสะอาด ล้างฝุ่นหรือดินที่ติดอยู่บนหัวมันออกด้วยการใช้น้ำฉีด หัวมันสำปะหลังที่สะอาดจะถูกส่งเข้าเครื่องสับเพื่อทำให้มีขนาดเล็กลง และหัวมันสำปะหลังขนาดเล็กจะผ่านไปยังเครื่องโม่ (rasper) ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้การโม่ง่ายขึ้น ซึ่งจะได้เป็นของเหลวที่ผสมแป้ง น้ำ กากมันสำปะหลัง และสิ่งเจือปนอื่น ๆ

2. การสกัดแป้ง

ของเหลวข้นที่ได้จะเข้าเครื่องดีแคนเตอร์ซึ่งเป็นการแยกน้ำที่มีโปรตีน และไขมันออกจากเนื้อแป้งจากนั้นน้ำแป้งจะผ่านมาที่เครื่องสกัดแป้งที่แยกเป็น 2 ชุด คือ เครื่องแยกหยาบ (coarse extractor) และเครื่องแยกละเอียด (fine extractor) เพื่อแยกเอากากมันสำปะหลังออกจากน้ำแป้งจะได้น้ำแป้งที่ข้น

3. การทำให้แป้งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์

การส่งน้ำแป้งที่ได้เข้าสู่เครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกจากแป้ง และพ่นแป้งเข้าสู่ท่อไอร้อน (ลมร้อนประมาณ 200 °C) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้แป้งแห้งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อป้องกันการรวมตัวของแป้งเป็นเม็ดจะได้แป้งมัน และปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแป้งก่อนทำการบรรจุต่อไป

2.3 กากมันสำปะหลัง (cassava pulp)

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณมากในแต่ละปี ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังถ้าใช้หัวมันสำปะหลังสด 100% จะได้กากมันสำปะหลังประมาณ 11.1% (เยาวมาลย์ และ สาโรช, 2543) องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังอาจมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากความผันแปรของคุณภาพของหัวมันสำปะหลังในแต่ละภูมิภาค สายพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้เพาะปลูก อายุการเก็บเกี่ยว ฤดูกาล และวิธีการสกัดแป้ง จึงทำให้โภชนะของกากมันสำปะหลังมีสัดส่วนที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังในแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันไม่มาก เนื่องจากแต่ละโรงงานมีเทคโนโลยีในการสกัดแป้งมันสำปะหลังที่ทันสมัยไม่ต่างกัน โดยกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งประมาณ 50 – 60% จึงสามารถนำกากมันสำปะหลังไปใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงาน

สำหรับสัตว์ได้ ในกากมันสำปะหลังมีโปรตีนที่ต่ำประมาณ 2 – 3% และมีเยื่อใยสูงประมาณ 14% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง

Starch	Dry matter	Ash	Protein	Fat	Fiber	P	Ca	References
53.55	93.22	2.83	1.98	0.13	13.59	0.05	0.10	Khempaka et al. (2009)
47.96	88.66	4.50	2.69	0.39	14.75	0.02	0.57	ยุวเรศ และคณะ (2550)
47.97	88.66	5.73	3.42	0.50	14.75	-	-	ปรีดา และคณะ (2552)
50.20	89.12	5.32	2.35	0.53	14.57	-	-	สุเมธ และคณะ (2552)
-	89.51	4.91	2.68	0.25	14.38	0.33	0.24	*

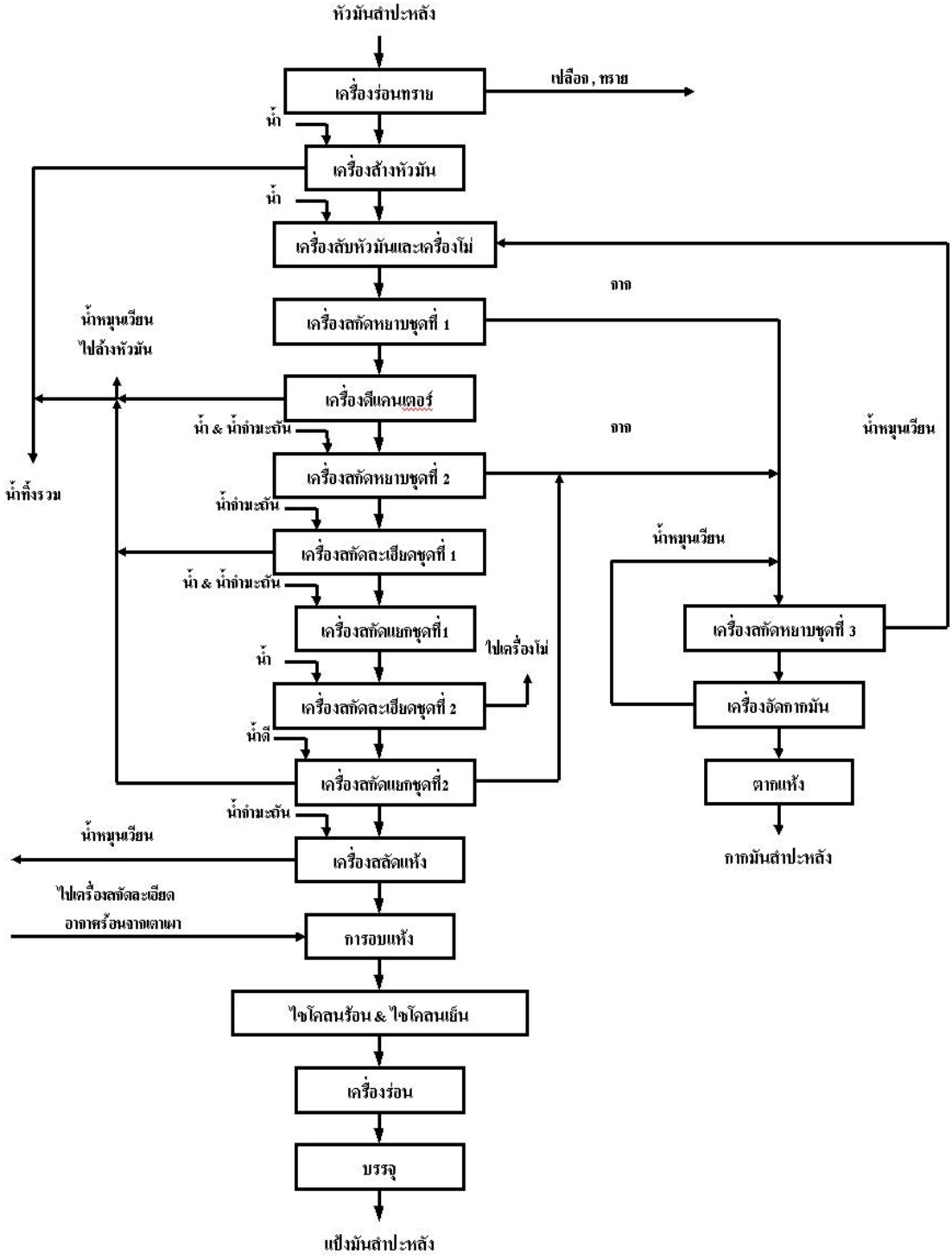
หมายเหตุ: * วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 โครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะนำมาทำให้แห้งแล้วนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากมีโภชนะหลงเหลืออยู่ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งเป็นหลัก โครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลังประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2.4

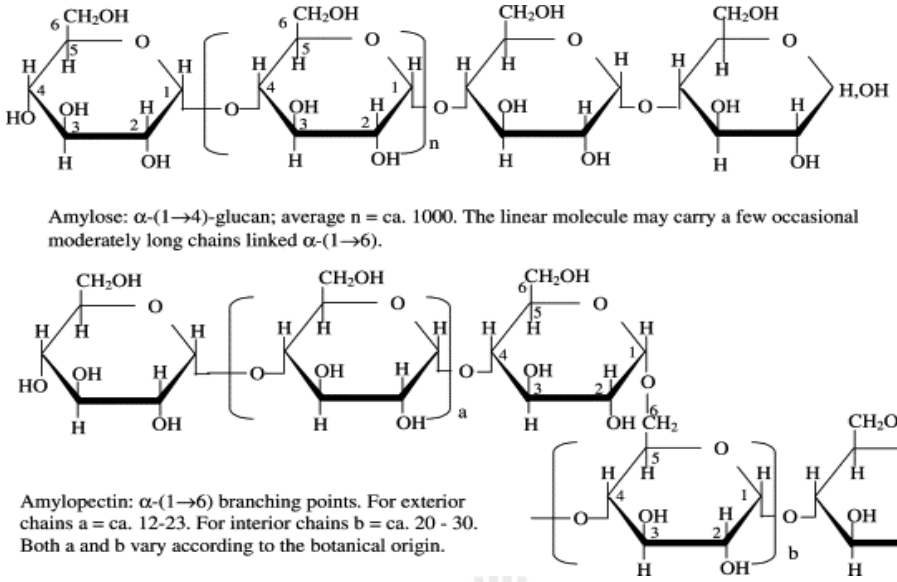
1. อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยสายของกลูโคสขนาด 1,000 หน่วยที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α–1,4 glucosidiclinkage โดยเกาะกันเป็นเส้นตรงไม่แตกกิ่งก้านสาขา และมีลักษณะเป็นเส้นเกลียว เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะเกิดสีน้ำเงิน

2. อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิแซคคาร์ไรด์ที่มีโครงสร้างแขนงประกอบด้วยพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α–1,4 glucosidiclinkage และจะแตกแขนงในทุก ๆ 20 – 30 หน่วยกลูโคส พอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคส 12 – 23 หน่วยเชื่อมกันด้วยพันธะ α-1,6 glucosidiclinkage เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะเกิดสีแดงม่วง



ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา: เสริมศักดิ์ (2546)



Amylose: α-(1→4)-glucan; average n = ca. 1000. The linear molecule may carry a few occasional moderately long chains linked α-(1→6).

Amylopectin: α-(1→6) branching points. For exterior chains a = ca. 12-23. For interior chains b = ca. 20 - 30. Both a and b vary according to the botanical origin.

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

ที่มา: Tester et al. (2004)

2.5 เยื่อใยที่พบในกากมันสำปะหลัง

จากการรวบรวมเอกสารพบว่า กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณเยื่อใยสูง เยื่อใยเหล่านี้จะลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ เซลลูโลส (cellulose) (Rattanachomsri et al., 2009; Suksombat et al. 2006; Ali et al., 2011) จากการวิเคราะห์หาสัดส่วนของเยื่อใยชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในกากมันสำปะหลังพบว่า มีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเท่ากับ 10.2 และ 3.3% ตามลำดับสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksombat et al. (2006) ที่พบว่ากากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลส (27.8%) สูงกว่าเซลลูโลส (5.9%) แต่ Rattanachomsri et al. (2009) และ Ali et al. (2011) รายงานกากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส อย่างไรก็ตามสัดส่วนของเยื่อใยที่อยู่ภายในกากมันสำปะหลังยังคงมีความแปรปรวนอยู่ ซึ่งความแปรปรวนนี้อาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ลักษณะสายพันธุ์ อายุ และคุณภาพของหัวมันสำปะหลังสด หรือสภาพดินที่ปลูก วิธีการเก็บเกี่ยว และกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (Sriroth et al., 2000) หรือการมีเปลือกมันสำปะหลังปะปนในกระบวนการคัดแยกกากมันสำปะหลังในแต่ละแหล่งด้วย

ตารางที่ 2.5 ชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง (on dry matter basis)

References	Fiber	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin
Rattanachomsri et al. (2009)	23	15.6	4.6	2.8
Ali et al. (2011)	20.1	8.1	2.8	2.2
Khempaka et al. (2009)	13.6	-	-	-
Suksombat et al. (2006)	6.6	5.9	27.8	3.9
In this study*	9.2	3.3	10.2	11.4

หมายเหตุ: * วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก

จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางโภชนะ ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งเหลืออยู่ประมาณ 50 – 60% และมีปริมาณไซยาไนด์เท่ากับ 16.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยในการนำมาใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ (ยุวเรศ และคณะ, 2550) ผลของการใช้กากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก ดังแสดงในตารางที่ 2.6 จากการศึกษาของ ยุวเรศ และคณะ (2550) และ Khempaka et al. (2009) พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 8 – 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณ เยื่อใยที่สูง สำหรับในไก่ไข่สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ที่ระดับ 15% โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ แต่มีผลต่อค่าคะแนนสีของไข่แดง โดยไข่แดงจะมีสีซีดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (ยุวเรศ และคณะ, 2550)

กากมันสำปะหลังประกอบด้วย neutral detergent fiber (NDF) 36.7%, acid detergent fiber (ADF) 9.8% และ acid detergent lignin (ADL) 3.9% โดยเยื่อใยจัดอยู่ในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำ สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เยื่อใยชนิดนี้มีผลเร่งการเคลื่อนตัวของอาหารภายในลำไส้ โดยเยื่อใยจะเกิดการพองตัวในน้ำเหมือนฟองน้ำ ทำให้อาหารไม่มีความหนืดจึงเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ได้เร็ว ดังนั้นไก่ที่ได้รับอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบมากเกินไป อาจทำให้ digesta มีความหนืดต่ำ มีการไหลผ่านในทางเดินอาหารเร็ว ส่งผลให้อัตราการย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง (Suksombat, et al., 2006; Tang et al., 2012) นอกจากนี้เยื่อใยในสูตรอาหารที่สูงเกินไปมีผลในการลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) ในทางเดินอาหาร โดยไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของโภชนะอื่น ๆ ด้วย (อุทัย, 2529; Jimenez – Moreno et al., 2010)

อย่างไรก็ตาม การใช้กากมันสำปะหลังในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนต่ำ และปริมาณเยื่อใยสูงจึงใช้ประกอบสูตรอาหารได้ในระดับที่ต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือการเสริมเอนไซม์ในอาหาร ซึ่งน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีกได้

ตารางที่ 2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก

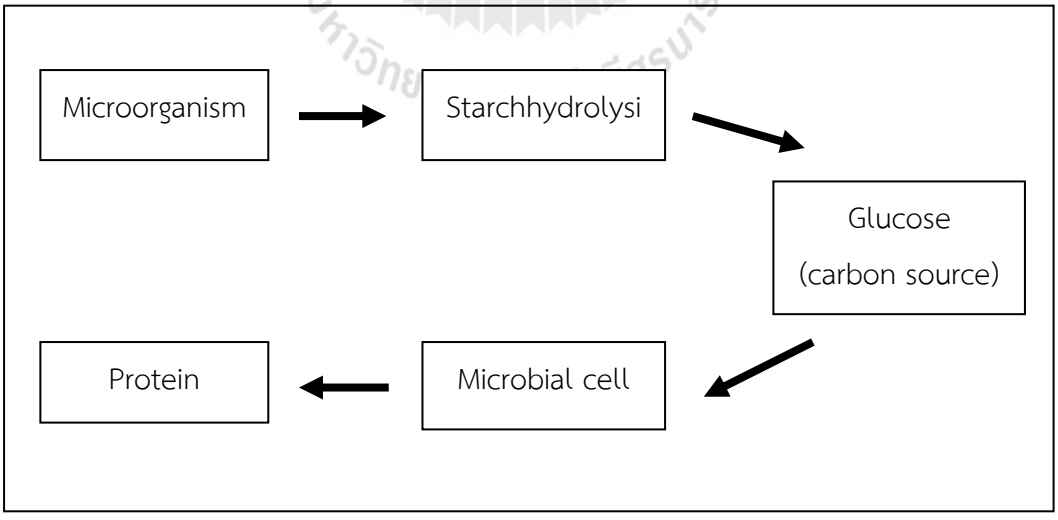
Treatment	BW (g)	FI (g/b/d)	FCR	Egg production (%)	Egg weight (g)	Yolk Color	References
Broilers (45 d)							ยุวเรศ และ
0% Cassava pulp	2756	106.69	1.75	-	-	-	คณะ (2550)
5% Cassava pulp	2697	105.39	1.76	-	-	-	
10% Cassava pulp	2678	105.34	1.77	-	-	-	
Broilers (42 d)							Khempaka
0% Cassava pulp	2422[a]	108.71	2.03	-	-	-	et al. (2009)
4% Cassava pulp	2411[a]	112.02	2.11	-	-	-	
8% Cassava pulp	2347[a]	113.93	2.23	-	-	-	
12% Cassava pulp	2149[b]	94.02	1.99	-	-	-	
16% Cassava pulp	2051[b]	89.36	1.99	-	-	-	
Laying hen (60 wk)							ยุวเรศ และ
0% Cassava pulp	-	122.67	-	83.86	69.55	6.77[a]	คณะ (2550)
5% Cassava pulp	-	122.39	-	84.02	69.66	6.05[b]	
10% Cassava pulp	-	121.77	-	83.72	69.74	5.26[c]	
15% Cassava pulp	-	121.36	-	84.03	69.47	4.34[d]	

[a - d] Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

2.7 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีการหมัก

การหมักในทางชีวเคมีหมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์โดยอาศัยเอนไซม์เป็นตัวช่วย ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถนำมาผ่านกระบวนการหมักเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้ดีขึ้น และลดข้อจำกัดก่อนการนำไปใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ได้

กระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์แบ่งตามลักษณะหรือปริมาณน้ำในอาหารได้ 3 แบบ คือ การหมักแบบแห้ง (solid – state fermentation) โดยมีการเติมน้ำเล็กน้อยเพื่อให้เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การหมักในอาหารกึ่งของเหลว (semi – solid state fermentation) มีอาหารหมักเป็นของเหลวแต่มีของแข็งแขวนลอยบางส่วน และการหมักในอาหารเหลว (submerged fermentation) โดยเชื้อจุลินทรีย์เจริญในอาหารที่มีลักษณะเหลว (เสริมศักดิ์, 2546) ชนิดของการหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือการหมักเพื่อให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ (microbial cell or biomass) การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นเอนไซม์ (microbial enzyme) การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นสารเมทาบอไลท์ (microbial metabolite) และการหมักเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบ (transformation process) จากที่กล่าวมาข้างต้นองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งเหลืออยู่จำนวนมาก โครงสร้างของแป้งส่วนใหญ่เป็นอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ได้ดังนั้นการหมักกากมันสำปะหลังครั้งนี้จะเป็นการหมักเพื่อให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ จากการเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ส่งผลให้กากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การเพิ่มโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในวัสดุหมัก

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก

กระบวนการหมักเป็นการแปรสภาพทางชีวเคมีเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยอาศัยกิจกรรมการผลิตเอนไซม์ของจุลินทรีย์ องค์ประกอบหรือปัจจัยในกระบวนการหมักที่สำคัญ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ สารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ และสภาวะการหมัก เชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา จากการรวบรวมเอกสารพบว่าเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถนำมาหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์และเพิ่มโปรตีนให้สูงขึ้น เช่น *Lactobacillus spp.*, *Schawanniomyces sp.*, *S. cerevisiae*, *C. utilis*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. oryzae* และ *Trichoderma pseudokoningii* (นันทกร และคณะ, 2543; อนันตภัทร และ วิชัย, 2548; อุษณีย์ภรณ์ และคณะ, 2550; จรัญ, 2551; Oboh, 2006; Feng et al., 2007a; Heeok, et al., 2010; Thongkratok et al., 2010; Apata, 2011) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีความต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโต เพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม และการสร้างพลังงาน โดยแหล่งอาหารที่สำคัญ ได้แก่ น้ำ คาร์บอน ไนโตรเจน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ องค์ประกอบของสารอาหารมีความสำคัญในการทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้แตกต่างกัน

สารอาหารสำหรับจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้น (substrate) จากเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น จากผลการศึกษาของสับสเตรตที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล (saccarification) โดยการเปรียบเทียบระหว่างสับสเตรตที่ต่างกัน 4 ชนิด คือ มันเส้น มันสด มันเส้นนึ่ง และมันสดนึ่ง พบว่าการนึ่งวัตถุดิบก่อนการหมักมีอิทธิพลต่อความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสับสเตรต ซึ่งการนึ่งสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นที่มีในมันสำปะหลัง จึงสามารถลดภาวะแข่งขันจากเชื้ออื่นในระยะเริ่มต้นการหมักได้ นอกจากนี้การนึ่งยังทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดสั้นลง ช่วยให้เอนไซม์อะไมเลสทำงานได้เร็วขึ้น (นันทกร และคณะ, 2543)

ปัจจัยหลักที่จุลินทรีย์ใช้สำหรับการดำเนินกิจกรรมการหมักได้แก่

1. สารตั้งต้น ต้องมีการเตรียมให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ แหล่งน้ำ จุลินทรีย์ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต ซึ่งน้ำในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ น้ำผูกพัน (bound water) เป็นน้ำที่ถูกยึดไว้ด้วยพันธะทางเคมีภายในโมเลกุลของอาหาร และน้ำอิสระ (free water) เป็นน้ำที่เกาะอยู่กับอาหารอย่างหลวม ๆ โดยน้ำอิสระเป็นน้ำที่จุลินทรีย์นำมาใช้ในการเจริญเติบโต แหล่งคาร์บอน เป็นสารประกอบอินทรีย์ในอาหารสารอาหารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส ฟรุกโตส และแหล่งคาร์บอนในรูปของโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลสซึ่งคาร์โบไฮเดรตนั้นจะเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ และแหล่งไนโตรเจน โดยไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนที่มีบทบาทในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ไนโตรเจนได้จากโปรตีนหรือกรดอะมิโน ยูเรีย สารประกอบอื่น ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ นันทกร และคณะ (2543) ทำการศึกษาการใช้ยูเรีย

เป็นแหล่งไนโตรเจนของกระบวนการหมักมันสำปะหลัง โดยใช้ยูเรียที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% ตามลำดับ พบว่ายูเรียที่ระดับ 1% สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูงสุด จาก 11.37% เป็น 19.45% และมีปริมาณอะมิโนไนโตรเจนสูงที่สุด Thongkratok et al. (2010) ศึกษาการเพิ่มโปรตีนในกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae*, *S. cerevisiae* และ *C. utilis* ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ1.25% พบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* ที่ระดับยูเรีย 0.75% สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูงสุด นอกจากนี้การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของรา *Rhizopus oligosporus* บนกากมันสำปะหลังที่มียูเรียในระดับ 0, 0.6, 0.9, 1.25 และ 2.5% พบว่ารา *R. oligosporus* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเติมยูเรีย 1.25% ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุด แต่เมื่อเติมยูเรียมากกว่า 1.25% ทำให้ปริมาณกลูโคซามีนลดลง เนื่องจากระดับยูเรียที่มากเกินไปจะมีผลเป็นพิษกับเซลล์ของจุลินทรีย์ (เสริมศักดิ์, 2546)

สารอาหารอื่น ๆ ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการหมัก เช่น วิตามิน และแร่ธาตุ แหล่งวิตามินจะเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (growth factor) และทำหน้าที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ต้องการไบโอติน (biotin) และไรโบฟลาวิน (riboflavin) เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แหล่งของแร่ธาตุมีผลต่อการรักษาสมดุลของสารละลายภายใน และภายนอกเซลล์ทำให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ ซึ่งเกลือแร่จะมีผลต่อการถ่ายเทอิเลกตรอนในรูปของอิออนเพื่อช่วยในกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์จุลินทรีย์

2. สภาวะการหมัก มีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ อากาศ ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด - ด่าง และสารยับยั้งการเจริญเติบโตจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศปริมาณน้อยในกระบวนการหมัก เช่น ยีสต์ และแลคโตบาซิลลัส แต่ก็มีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น ราต้องการอากาศในปริมาณมากขึ้นเพื่อการสร้างเอนไซม์ และการเจริญเติบโต จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการความชื้นแตกต่างกัน เช่น ราไม่ชอบเจริญในอาหารที่มีความชื้นมากหรือเปียก แต่จะเจริญได้ดีในอาหารที่มีความชื้นอยู่บ้างในขณะที่แบคทีเรียหรือยีสต์มักเจริญในอาหารที่มีลักษณะเปียกแฉะมีน้ำอยู่มากเป็นต้น ความชื้นมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรา การถ่ายโอนก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกซด์และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อการผลิตเอนไซม์ของรา จรัญ (2551) ศึกษาทดลองการปรับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัสดุหมักผสมระหว่างรำข้าวสาลีและรำข้าวเจ้าที่หมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* โดยมีระดับความชื้นเป็น 45, 50 และ 60% พบว่าความชื้นเริ่มต้นที่ 50% มีความเหมาะสมที่สุดในการหมัก นอกจากนี้การทดลองของ Oboh (2006) รายงานว่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการหมักเปลือกมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *L. delbruckii*, *L. Coryneformis* และ *S. Cerevisiae* ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 คือ 90 – 93% ที่ทำให้ระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 8.2 เป็น 21.5%

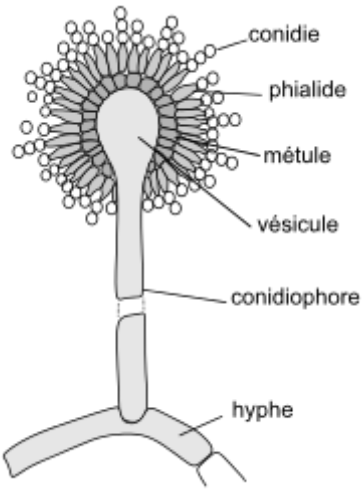
อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการหมักไม่เหมาะสำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องการจะทำให้จุลินทรีย์ชนิดนั้นเจริญเติบโตได้ไม่ดี แต่จุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญได้เร็วกว่า ธัญรัตน์ และคณะ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นในการ

หมักรำข้าวสาลีต่อรำข้าวเจ้าด้วยเชื้อรา *A. oryzae* พบว่าเมื่อเวลาการหมักผ่านไป 24 ชั่วโมง เชื้อรา *A. oryzae* จะนำสารอาหารจากวัสดุหมักไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็วทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงพร้อมกับมีการคายความร้อนออกมาปริมาณมาก ซึ่งการหายใจ และกระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อรา *A. oryzae* เป็นผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในวัสดุหมักที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 54 °C พบว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เชื้อราตายได้ซึ่งเชื้อรา *A. oryzae* จะเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30-40 °C ดังนั้นการทดลองจึงมีการให้อากาศเพิ่มไปในการหมักตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 เพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิในกระบวนการหมัก นอกจากนี้การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อรา *A. oryzae* บนปลายข้าวหอมมะลิต่อน้ำในอัตราส่วน 10 : 4 โดยการนำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 และ 28 °C ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 32 °C) ทำการบ่มเป็นเวลา 5 วัน พบว่าการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C มีจำนวนสปอร์สูงสุดเมื่อตรวจนับด้วยวิธี spread plate (บุญศรี, 2543)

ความเป็นกรด – ด่าง หรือ pH ของการหมักควรจะควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ จากการศึกษาระดับ pH ในกระบวนการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *Chlamydomucor* และ *C. utilis* พบว่าระดับ pH 5 – 6 มีความเหมาะสมที่สุดในกระบวนการหมัก ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 19.45% (นันทกร และคณะ, 2543) นอกจากนี้สารยับยั้งการเจริญ เช่น เกลือมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโทษ

การหมักวัตถุดิบด้วยเชื้อราส่วนใหญ่เป็นการหมักแบบแห้ง โดยลักษณะการเจริญของเชื้อราจะสร้างเส้นใยบนวัสดุหมัก เชื้อราที่ใช้ในกระบวนการหมักมีหลายชนิด เช่น *R. oligosporus*, *R. oryzae*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. oryzae*, *Amylomyces rouxii* และ *Trichoderma viride* เป็นต้น (กรกช และคณะ, 2545; เสริมศักดิ์ และ เพ็ญจิตร, 2545; อุษณีย์ภรณ์ และคณะ,2550; กัลยานี และคณะ, 2551; Feng et al., 2007a; Oboh and Elusiyan, 2007; Belewu and Babalola, 2009; Adamafio et al., 2010; Ezekiel et al., 2010; Thongkratok et al., 2010)

เชื้อราในกลุ่มของ *Aspergillus* พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน ซากพืช ซากสัตว์ และมูลสัตว์ โครงสร้างของเชื้อรา *Aspergillus* (ภาพที่ 2.6) มีลักษณะเป็นเส้นใยแตกแขนง มีผนังกั้นแต่ละส่วน ที่กั้นมีนิวเคลียสหลายอัน ประกอบด้วยก้านชูสปอร์ (conidiophore) ที่เกิดจากฟูตเซลล์ (foot cell) ก้านชูสปอร์อาจมีผนังกั้นหรือไม่มีก็ได้ ส่วนปลายของก้านชูสปอร์จะโป่งออกเป็นเวสซิเคิล (vesicle) ส่วนที่ยื่นออกมาเป็นสเตอริกมา (sterigma) อาจมีชั้นเดียวหรือสองชั้น โคนิเดีย (conidia) สร้างขึ้นในสเตอริกมา โดยโคนิเดียที่ถูกสร้างภายหลังจะดันโคนิเดียอันแรกออกมาจึงเกิดเป็นสายของโคนิเดีย (ชลนิชา, 2548) ซึ่งโคโลนีหรือสปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus* มีทั้งสีเหลืองเขียวปนเหลืองน้ำตาลเหลืองหรือสีเขียวลักษณะคล้ายกำมะหยี่หรือเป็นปุยคล้ายสำลีแตกต่างกันตามแต่ละชนิด (species) ของเชื้อรา



ภาพที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของเชื้อรา *Aspergillus*
ที่มา: Wikipedia (2013)

เชื้อรา *Aspergillus* มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด เช่น แอลฟาอะไมเลส (α–amylase) กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) โปรติเอส (protease) และเซลลูเลส ทั้งนี้ยังมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตกรด (กรดซิตริก กรดอิตาโคนิก) การหมักซีอิ๊ว การผลิตเอนไซม์ (xylanase, amylase, cellulose, β–glucanase) และการผลิตยาปฏิชีวนะ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามมี *Aspergillus* บางชนิดที่สามารถสร้างสารพิษ เช่น อะฟลาทอกซิน ได้แก่ *A. flavusc* และ *A. Paraciticus* เป็นต้น

ดังนั้นการเลือกเชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้ในกระบวนการหมักต้องเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษ และไม่เป็นอัตรายต่อสัตว์ ซึ่ง *A. oryzae* เป็นเชื้อราที่มีประโยชน์ไม่สร้างสารพิษ มีการใช้ในการหมักทำหัวเชื้อในการผลิตซีอิ้ว เต้าเจี้ยว และอาหารหมักพื้นบ้านของชาวเอเชียตะวันออก (สุมณฑา, 2545) จึงสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งเชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อราที่สร้างสปอร์สีเหลืองปนเขียว สร้างเส้นใยสีขาว และปริมาณเส้นใยที่สร้างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกิจกรรมของเอนไซม์ โดยเชื้อรา *A. oryzae* สามารถผลิตเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรติเอส และเซลลูเลส (Francis et al., 2002; Chutmanop et al., 2008; Begum et al., 2009; Zambare, 2010) เอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตได้มีความคงทนต่อ pH ในช่วง 5 – 8.5, 4.5 – 10.5 และ 3 – 6.3 ตามลำดับ และคงทนต่ออุณหภูมิ 50 °C (สุนันทา และคณะ, 2550; จรัญ, 2551; มานิตย์, 2553)

การย่อยสลายแป้งในกากมันสำปะหลังต้องอาศัยเอนไซม์ที่สามารถย่อยพันธะระหว่าง α–1,4 glucosidic และ α–1,6 glucosidic ของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดยเอนไซม์ย่อยภายใน (endoamylase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะชนิด α–1,4 glucosidic ในโมเลกุลของแป้งได้ เอนไซม์ชนิดนี้คือ แอลฟาอะไมเลส ซึ่งจะย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาล หรือโมเลกุลที่เล็กลงได้

ผลิตภัณฑ์เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และแอลฟาลิมิตเด็กทริน (α–limit–dextrins) ส่วนเอนไซม์ย่อยภายนอก (exoamylase) เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะของ α–1,4 glucosidic และ α–1,6 glucosidic คือ เอนไซม์กลูโคอะไมเลส ซึ่งย่อยแป้งในกากมันสำปะหลังได้ผลผลิตเป็นกลูโคส จากเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายแป้งของกากมันสำปะหลังนั้น พบว่าเชื้อรา *A. oryzae* สามารถผลิต และใช้ประโยชน์จากแป้งของกากมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้เชื้อรา *A. oryzae* ยังสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งจะช่วยย่อยคาร์โบไฮเดตรในกลุ่มของเยื่อใยในกากมันสำปะหลังได้

2.9 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์

กระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ประกอบด้วยอาหารหรือสารตั้งต้น เพื่อให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์ ซึ่งสารตั้งต้นส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญต่อการเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการสร้างพลังงาน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความชื้น pH แหล่งไนโตรเจน และแร่ธาตุ ผลของการเพิ่มโปรตีนจากการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ดังแสดงในตารางที่ 2.7 Feng et al. (2007a) และ Oboh and Elusiyan (2007) ศึกษาการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยเชื้อรา *A. oryzae* พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในวัตถุดิบได้สูงขึ้น นอกจากนี้การทดลองพบว่าวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักนั้นสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้เช่นกัน (Zamora and Veum, 1978; Zamora and Veum, 1979; Akindahunsi et al., 1999)

การหมักมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังเป็นกระบวนการหมักที่ให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ ซึ่งการเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในวัสดุหมักได้ จากปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งปริมาณโปรตีนที่เพิ่มอาจขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นที่มีความเหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด ผลของการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังและผลพลอยได้จากมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 2.8 จากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (ฤทัยรัตน์, 2553; อนันตภัทร และ วิชัย, 2548; Oboh, 2006: Oboh and Elusiyan, 2007; Boonnop et al.,2009; Ezekiel et al. 2010) โดย Adamafio et al. (2010) ศึกษาการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. niger*, *A. flavus* และ *Lactobacillus* แล้วนำน้ำหมักที่ได้ไปหมักเปลือกมันสำปะหลัง พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในเปลือกมันสำปะหลังได้ ส่วนเยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์โบไฮเดรตทั้งในรูปแป้ง และเยื่อใยเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับสร้างพลังงานให้กับเซลล์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Apata (2011) พบว่าการหมักกากผลไม้ก่อนนำมาใช้ประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อ สามารถเพิ่มโปรตีน และลดปริมาณเยื่อใยได้

นอกจากนี้ Thongkratok et al. (2010) ศึกษาการเพิ่มโปรตีนในกากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ *A. oryzae*, *S. cerevisiae* และ *C. utilis* ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ระดับ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25% ระยะเวลาหมัก 7 วัน พบว่า

เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดสามารถเพิ่มน้ำตาลรีดิวท์ โปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนได้ โดยเชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อที่เหมาะสมที่สุดในการหมักกากมันสำปะหลังร่วมกับยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนได้ จาก 2.59% และ 0.89% เพิ่มเป็น 17.40% และ 15.13% ซึ่งการเพิ่มปริมาณโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมัก (Belewu and Babalola, 2009)

จากการรวบรวมข้อมูลการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มปริมาณโปรตีนในวัสดุหมัก นอกจากนี้การหมักมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังยังสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก (Oboh, 2006; Oboh and Elusiyan, 2007; Boonnop et al., 2009) สอดคล้องกับผลของการหมักเปลือกมันสำปะหลังด้วยน้ำกากมันสำปะหลังหมักช่วยให้ปริมาณของไซยาไนด์ลดลง (Adamafio et al., 2010) เช่นเดียวกันวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการหมักสามารถที่จะลดปริมาณสารต้านโภชนะที่มีอยู่ในวัตถุดิบชนิดนั้น ๆ ได้ เช่น แทนนินกรดไฟทิก และทริปซิน (Feng et al., 2007a; Apata, 2011) จากการทำงานของจุลินทรีย์ที่ปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยสลายวัตถุดิบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

Treatment	Nutrient (%DM)					References
	DM	Ash	Protein	Fat	Fiber	
Soybean meal	88.2[a]	-	43.7[a]	8.4[a]	-	Feng et al.
A. oryzae	91.2[b]	-	46.3[b]	9.9[b]	-	(2007a)
Dehulled soybean meal	-	4.4	43.4	20.4	5.1	Zamora and
A. oryzae	-	4.6	45.4	21.7	4.6	Veum (1978)
R. oligosporus	-	4.4	45.9	22.0	5.2	
Whole soybean	-	5.4	43.4	18.5	7.2	Zamora and
A. oryzae	-	6.2	45.4	21.6	7.0	Veum (1979)
R. oligosporus	-	6.0	45.9	18.7	7.0	
Cassava flour	-	2.3	4.4	3.8	3.8	Akindahunsi
R. oryzae	-	4.2	8.7	2.0	3.5	et al. (1999)
Cassava gari	-	1.9	3.6	3.6	3.7	
R. oryzae	-	2.3	5.6	4.2	3.7	
Cassava	-	0.9[b]	4.7[c]	1.1[b]	2.7[a]	Oboh and
R. oryzae	-	2.9[a]	8.8[b]	4.5[a]	1.6[b]	Elusiyan (2007)
S. cerevisiae	-	3.0[a]	9.6[a]	5.0[a]	1.8[b]	
Cassava yeast	88.28	8.69	9.94	0.42	5.61	Chumpawadee et al. (2009)

[a - c] Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางโภชนะของผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

Treatment	Nutrient (%DM)					References
	Protein	Fat	Fiber	Ash	Carbohydrate	
Cassava peel	8.2[c]	3.1[a]	12.5[a]	6.4[b]	64.6[a]	Oboh (2006)
Naturally[1]	11.1[b]	3.5[a]	6.5[b]	6.0[b]	67.3[a]	
Inoculated[2]	21.5[a]	2.1[b]	11.7[a]	7.2[a]	51.1[b]	
Cassava flour[3]	6.4[b]	2.9[b]	3.8[d]	1.4[a]	85.5[b]	Oboh and
R. oryzae	10.5[e]	7.4[d]	1.9[a]	2.6[b]	77.6[a]	Elusiyan (2007)
S. cerevisiae	12.6[f]	8.0[d]	2.1[a]	2.5[b]	74.8[a]	
Cassava flour[4]	4.7[a]	1.1[a]	2.7[c]	0.9[a]	90.6[c]	
R. oryzae	8.8[c]	4.5[c]	1.6[a]	2.9[b]	76.0[a]	
S. cerevisiae	9.6[d]	5.0[c]	1.8[a]	3.0[b]	74.5[a]	
Cassava chip	3.4[a]	2.7[a]	-	-	-	Boonnop et al.
S. cerevisiae	32.5[b]	5.8[b]	-	-	-	(2009)
Fresh cassava root	3.2[a]	2.3[a]	-	-	-	
S. cerevisiae	21.1[c]	3.0[a]	-	-	-	
Cassava peel	4.21[b]	1.37[c]	8.46[b]	3.27[c]	51.93[a]	Ezekiel et al.
T. viride	36.52[a]	2.23[a]	12.88[a]	15.49[b]	26.07[b]	(2010)
T. viride + amylases	37.63[a]	1.83[b]	11.93[a]	17.80[a]	24.34[c]	
Cassava pulp						อนันตภัทร และ
S. occidentalis	22.03	0.43	18.46	-	-	วิชัย (2546)
Cassava pulp						ฤทัยรัตน์ (2553)
A. oryzae	11.82	0.15	10.60	1.58	33.55	

[a - f] Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] การหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อจุลินทรีย์; [2] การหมักที่มีการใส่เชื้อ *S. cerevisae, L. delbruckii* และ *L. coryneformis*;

[3] cassavaflour (low-cyanide); [4] cassavaflour (medium-cyanide)

2.10 ผลของการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังหมักในอาหารสัตว์ปีก

ผลของการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง ที่ผ่านกระบวนการหมักเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ปีก ดังแสดงในตารางที่ 2.9 อุษณีย์ภรณ์ และคณะ (2550) ศึกษาการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. niger* พบว่าการใช้มันสำปะหลังหมักในอาหารเป็ดที่ระดับ 10% สามารถเพิ่มน้ำหนักตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ กัลยานี และคณะ (2551) ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. rouxii* พบว่าสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงสุดที่ระดับ 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ฤทัยรัตน์ (2553) ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถใช้ได้ถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก ยิ่งไปกว่านั้นสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้มากกว่ากากมันสำปะหลังปกติ

ผลของการใช้มันสำปะหลังหมักด้วย *S. cerevisiae* (cassava yeast) ในอาหารไก่ไข่ พบว่า cassava yeast ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของแม่ไก่ อย่างไรก็ตาม cassava yeast ทำให้ผลผลิตไข่ลดลง แต่น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น (Chumpawadee et al., 2009) วิรชัย และคณะ (2536) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักได้ถึง 30% ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และผลผลิตไข่ แต่พบว่าค่าคะแนนสีของไข่แดงจะลดลงตามระดับของสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังหมักเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้สามารถเพิ่มระดับการใช้วัตถุดิบดังกล่าวได้สูงขึ้น

จากการรวบรวมข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า กระบวนการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* น่าจะสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังให้ดีขึ้น และสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อราที่มีประโยชน์และมีการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสำหรับมนุษย์ ดังนั้นการเลือกใช้เชื้อราชนิดนี้ในการหมักกากมันสำปะหลังจึงมีความปลอดภัยต่อสัตว์ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เชื้อรา *A. Oryzae* ในการหมักกากมันสำปะหลัง ร่วมกับยูเรีย 0.75% และหมักเป็นเวลา 4 วัน เพื่อนำกากมันสำปะหลังหมักมาใช้ประกอบสูตรอาหารสำหรับไก่ไข่

ตารางที่ 2.9 ผลของการใช้มันสำปะหลังหมักและกากมันสำปะหลังหมักในอาหารสัตว์ปีก

Treatment	BW (g)	FI (g/bird)	FCR	References
Ducks				อุษณีย์ภรณ์ และคณะ
Negative+phytase	3066.5^{c}	-	2.26^{a}	(2550)
10% FCM[1]	3337.8^{a}	-	2.07^{c}	
20% FCM	3164.5^{b}	-	2.19^{b}	
30% FCM	3067.8^{c}	-	2.27^{a}	
Positive control	3214.5^{b}	-	2.16^{b}	
Broilers				กัลยานี และคณะ
Control	2291^{a}	3857^{a}	1.70^{b}	(2551)
5% FCM [2]	2023^{ab}	3813^{a}	1.88^{a}	
10% FCM	2081^{a}	3863^{a}	1.86^{a}	
15% FCM	1937^{b}	3687^{ab}	1.90^{a}	
20% FCM	1868^{b}	3542^{b}	1.90^{a}	
Broilers				ฤทัยรัตน์ (2553)
Control	2219^{ab}	4151^{ab}	1.91^{bc}	
4% FCP [3]	2240^{a}	4139^{ab}	1.88^{c}	
8% FCP	2201^{ab}	4183^{a}	1.94^{bc}	
12% FCP	2160^{ab}	4112^{b}	1.94^{bc}	
16% FCP	2116^{b}	4124^{ab}	1.99^{ab}	
20% FCP	1996^{c}	4042^{c}	2.07^{a}	

$^{a-c}$ Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] cassava meal fermented with *Aspergillus niger*

[2] cassava meal fermented with *Amylomyces rouxii*

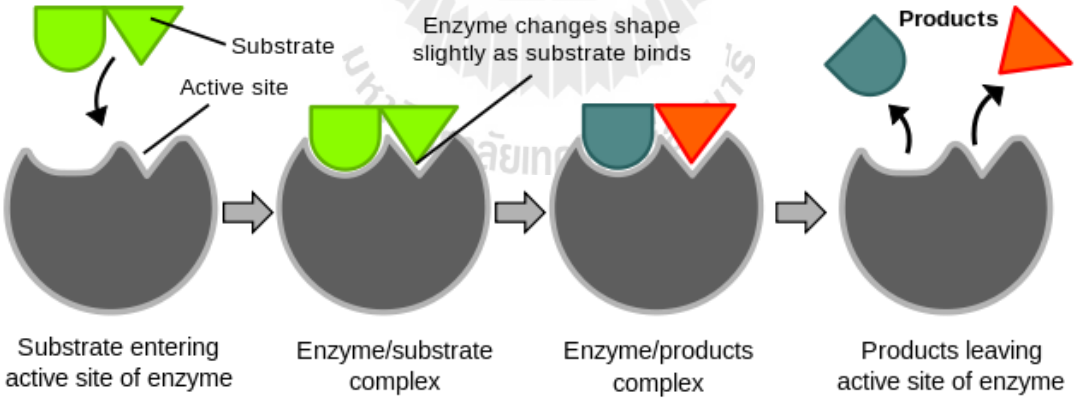
[3] cassava pulp fermented with *Aspergillus oryzae*

2.11 เอนไซม์ (enzyme)

เอนไซม์ คือกลุ่มของโปรตีนที่มีหน้าที่แตกต่างจากโปรตีนโดยทั่วไป มีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี ทำงานได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับความชื้น ค่าความเป็นกรด ด่าง และอุณหภูมิ เปรียบเทียบได้กับลูกกุญแจกับแม่กุญแจ เอนไซม์มีการทำงานเฉพาะจุดเพื่อเร่งปฏิกิริยาในส่วนนั้น ๆ (ภาพที่ 2.7) ในปัจจุบันพบว่าการเสริมเอนไซม์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้เพิ่มสูงขึ้น ลดการสูญเสียของอาหารที่ให้กับสัตว์ ลักษณะของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เอนไซม์ที่สัตว์สามารถผลิตได้ (endogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์สามารถผลิตได้ แต่มีไม่เพียงพอ ส่วนใหญ่มักเสริมในสัตว์ที่อายุน้อย เนื่องจากสัตว์ยังมีพัฒนาการทางด้านระบบการย่อยอาหารไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจากความหลากหลายของวัตถุดิบอาหารอาจส่งผลให้การย่อยได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เอนไซม์ในกลุ่มนี้ เช่น เอนไซม์โปรตีเอส และเอนไซม์อะไมเลส เป็นต้น

2. เอนไซม์ที่สัตว์ไม่สามารถผลิตได้ (exogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์ไม่สามารถผลิตได้ เพื่อเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เช่น การเสริมเอนไซม์ไฟเตส เพื่อย่อยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตต เพื่อให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น หรือการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (NSP-degrading enzyme) เพื่อย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปลดปล่อยโภชนะที่อยู่ภายในผนังเซลล์พืช เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และแร่ธาตุต่าง ๆ ออกมา

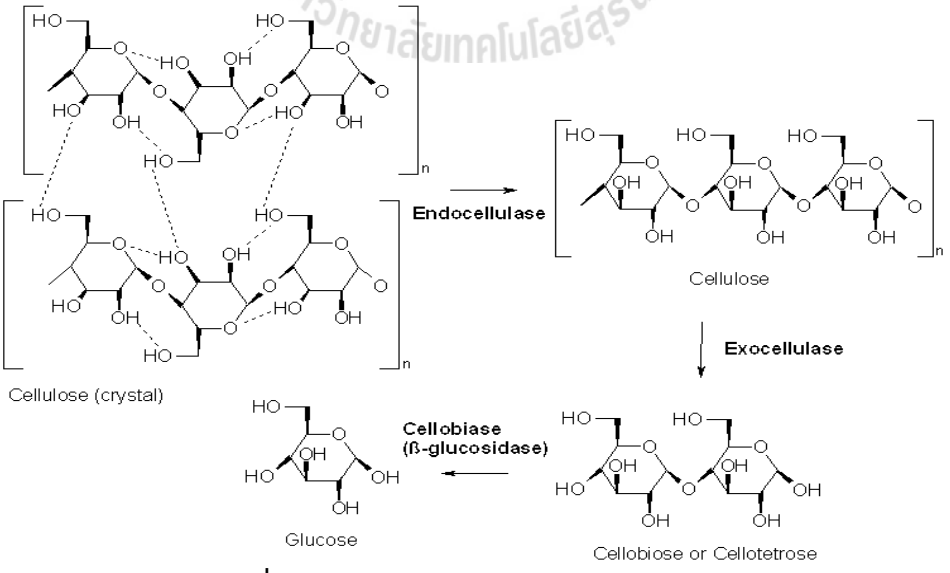


ภาพที่ 2.7 กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (lock and key model)
ที่มา: Wikipedia (2013)

ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การใช้เอนไซม์เสริมในอาหารจะพิจารณาส่วนของการเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยในอาหารให้มากที่สุด โดยส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ในกลุ่มเซลลูเลส (cellulose) กลูคาเนส (glucanase) และไซลาเนส (xylanase) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแหล่งของเอนไซม์เหล่านี้จะผลิตได้จาก แบคทีเรีย หรือเชื้อรา ชนิดต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เอนไซม์นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบชนิดของเยื่อใยที่อยู่ในวัตถุดิบที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ได้สูงขึ้น

2.11.1 เอนไซม์เซลลูเลส

เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อาหาร สิ่งทอ และอุตสาหกรรมกระดาษ เช่น การผลิตน้ำผลไม้ การสกัดน้ำมันมะกอก การสกัดสารแคโรทีนอย เพื่อใช้เป็นสารให้สี (Belghith et al., 2001; Buchert et al., 1996; Galante et al., 1998; Gusakov et al., 2000; Kottwitz and Schambil, 2005; Maurer, 1997) และในส่วนของกลูคาเนสจะใช้ในกระบวนการผลิต เบียร์ และไวน์ เป็นต้น เอนไซม์เซลลูเลสประกอบไปด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ endo–β–glucanase, exo–β–glucanase และ β–glucosidase ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะทำงานร่วมกันในการย่อยสลายพันธะของเซลลูโลส โดยการทำงานของเอนไซม์จะเริ่มจาก endo–β–glucanase เข้าไปสลายพันธะของเซลลูโลสที่มีโครงสร้างแข็งแรง (cellulose crystal) ให้กลายเป็นเซลลูโลส หลังจากนั้นเอนไซม์ exo–β–glucanase จะเข้าย่อยพันธะของเซลลูโลสอีกครั้งหนึ่งเช่นเดียวกับ endo–β–glucanase หลังจากนั้นโครงสร้างของเซลลูโลสจะถูกย่อยให้กลายเป็นเซลลูโลสสายสั้น ๆ และ cellobios สุดท้ายเอนไซม์ β–glucosidase จะเข้าไปย่อยสลายพันธะอีกครั้งหนึ่งได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคส ดังแสดงในภาพที่ 2.8

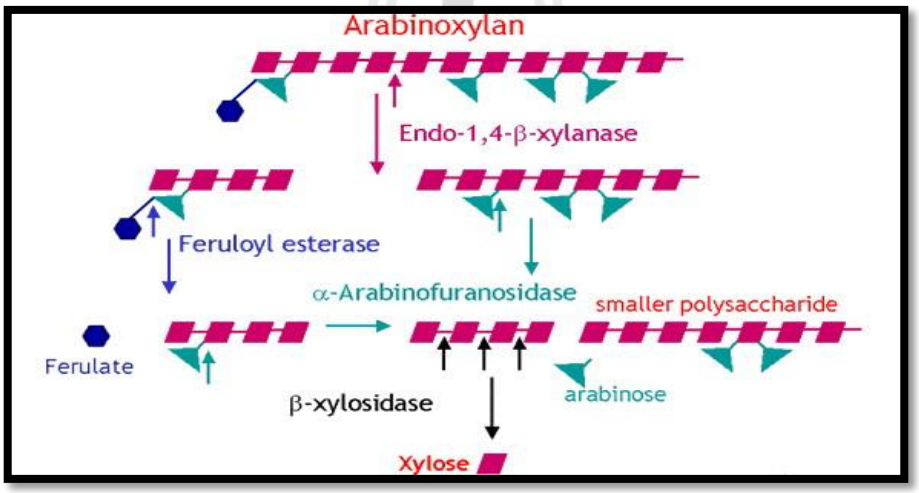


ภาพที่ 2.8 กลไกการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส

ที่มา: Wikipedia (2015)

2.11.2 เอนไซม์ไซลาเนส (endo–1, 4–β–xylanase)

เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หรืออุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เพื่อย่อยสลายของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม หรือของเสียในกลุ่มโอลิโกแซคคาร์ไรด์เพื่อนำมาใช้เป็น functional food หรือการนำมาผลิตเป็นสารอาหารให้ความหวาน เช่น ไซลิทอล (xylitol) ได้อีกทางหนึ่ง (Motta et al., 2013) สำหรับการใช้เอนไซม์ไซลาเนสในทางอาหารสัตว์ ส่วนใหญ่ใช้เพื่อย่อยเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น (Bedford and Classen, 1992) เอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยจำพวกเฮมิเซลลูโลสในส่วนของพันธะ β–1, 4 D–xylosidic linkages ของไซแลนให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ หรือคาร์โบไฮเดรตสายสั้น ๆ ที่มีน้ำตาลหลาย ๆ ชนิดปนอยู่ เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส แสดงในภาพที่ 2.9 โดยเอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยการสลายพันธะ β–1,4 ของไซแลนตามตำแหน่งต่าง ๆ ของไซแลนที่พบในเฮมิเซลลูโลส (Biely et al., 1992; Coughlan et al., 1993) เพื่อเป็นการปลดปล่อยไซโล–โอลิโกแซคคาร์ไรด์สายสั้น (short xylo–oligosaccharides) และโพลิแซคคาร์ไรด์สายสั้น (smaller polysaccharide) ออกมา



ภาพที่ 2.9 กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส

ที่มา: Challenge Group (2007)

2.12 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อ

จากการรวบรวมเอกสารการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์นั้น พบว่ามีการทดสอบทั้งในหลอดทดลอง และในตัวสัตว์ โดยการทดสอบในหลอดทดลองส่วนใหญ่จะใช้ค่าความหนืดและน้ำตาลรีดิวซ์ของ digesta เป็นตัวชี้วัดการทำงานของเอนไซม์ ถ้าเอนไซม์สามารถย่อยเยื่อใยที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารได้ดีก็จะส่งผลในการลดค่าความหนืดของ digesta สาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความหนืดเป็นผลมาจากเยื่อใยที่ดูดน้ำและพองตัวจนเต็มทางเดินอาหาร เมื่อเกิดการย่อยสลายของเยื่อใยในส่วนนี้ได้ค่าความหนืดของอาหารจะลดลง ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์เป็นผลมาจากเอนไซม์เข้าไปย่อยโครงสร้างของเยื่อใยทำให้เยื่อใยที่ประกอบมาจากคาร์โบไฮเดรตสายยาวกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือการทำลายโครงสร้างของเยื่อใยเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยแป้งออกมาซึ่งแป้งก็สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ Meng and Slominki (2005) รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส สามารถย่อยเยื่อใยในกากเมล็ดทานตะวัน รำสกัดน้ำมัน และอาหารไก่เนื้อได้ดี ส่วนในกากถั่วเหลือง พบว่าเอนไซม์เพคติเนสจะให้ผลการย่อยเยื่อใยได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และเพคติเนสร่วมกันน่าจะส่งผลที่ดีที่สุด สำหรับผลของการลดความหนืดจะสัมพันธ์กับค่าปลดปล่อยน้ำตาล เนื่องจากถ้าค่าความหนืดน้อยลงแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายเยื่อใยมีมาก ทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำตาลที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 2.10 และ 2.11)

ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหาร ต่อการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.12 และ 2.13 ซึ่ง Meng et al. (2005) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยชนิดรวม สามารถเพิ่มการย่อยได้ของ NSP แป้ง โปรตีน และลดค่าความหนืดของอาหารได้ แต่ในการศึกษาของ Meng and Slomiski (2005) พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยแบบรวม ไม่มีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของแป้ง สำหรับผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 2.13 จากการศึกษาของ Mathlouthi et al. (2002) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสและกลูคาเนสในอาหารที่ใช้ข้าวสาลีและข้าวไรน์ สามารถเพิ่มการกินได้ น้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อที่ดีขึ้นของไก่เนื้ออายุ 20 และ 18 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ Alam et al. (2003) รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ทางการค้า Alquerzim (glucanase, cellulose and xylanase) Roxazyme (pepsin, pancreatin, lipase and cellulase) และ Feedzyme (amylase, proteinase, glucanase and pentosanase) ในอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก ช่วยเพิ่มการกินได้ น้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด แต่ในบางการทดลองพบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่มีผลในการเพิ่มการกินได้ แต่มีผลในการเพิ่มน้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อของไก่เนื้อ (Gao et al., 2007; Meng et al., 2004; Meng et al., 2005) แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ได้ โดยมีผลในการเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะส่งผลให้มีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นด้วย

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ากากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณแป้งที่สูง แต่สามารถใช้ในสูตรอาหารได้น้อยเนื่องจากเยื่อใยในกากมันสำปะหลังมีปริมาณสูงเช่นเดียวกันซึ่งส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ การเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยย่อยเยื่อใย อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อ

ตารางที่ 2.10 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อค่าความหนืดของอาหารในหลอดทดลอง

	Sunflower meal		Soybean meal		Deoiled rice bran		Broiler starter diet	
	Peptic Phase	Pancreatic Phase	Peptic Phase	Pancreatic Phase	Peptic Phase	Pancreatic Phase	Peptic Phase	Pancreatic Phase
Control	1.56^{a}	1.63^{a}	1.44^{a}	1.63^{a}	1.87^{a}	2.06^{a}	1.44^{a}	1.56^{a}
E1[1]								
0.1%	1.22^{c}	1.44^{bc}	1.33^{b}	1.50^{b}	1.44^{de}	1.68^{cd}	1.22^{cd}	1.44^{bc}
0.2%	1.11^{c}	1.38^{c}	1.22^{c}	1.38^{c}	1.38^{e}	1.63^{d}	1.16^{d}	1.38^{c}
E2[2]								
0.06%	1.44^{ab}	1.56^{ab}	1.22^{c}	1.44^{bc}	1.63^{bc}	1.77^{bc}	1.31^{bc}	1.50^{ab}
0.12%	1.22^{c}	1.44^{bc}	1.16^{cd}	1.37^{c}	1.56^{cd}	1.68^{cd}	1.25^{cd}	1.44^{bc}
E3[3]								
0.12%	1.44^{ab}	1.56^{ab}	1.16^{cd}	1.38^{c}	1.75^{ab}	1.88^{b}	1.44^{a}	1.56^{a}
0.24%	1.38^{b}	1.44^{bc}	1.11^{d}	1.22^{d}	1.68^{bc}	1.75^{bcd}	1.38^{ab}	1.50^{ab}
Mean	1.34^{z}	1.49^{y}	1.23^{z}	1.42^{y}	1.62^{z}	1.78^{y}	1.31^{z}	1.48^{y}
Pooled SEM	0.03	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04

ที่มา: Meng and Slominki (2005)

$^{a-e}$ Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

$^{y-z}$ Means within a row and feedstuff with no common superscript differ significantly (P<0.05)

[1] E1 = Xylanase 900 U/g, Cellulase 12 FPU/g

[2] E2 = Xylanase 680 U/g, Cellulase 18 FPU/g

[3] E3 = Xylanase 450 U/g, Cellulase 4.5 FPU/g and Pectinase 4,500 U/g

ตารางที่ 2.11 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในหลอดทดลอง

Enzyme	Total sugars released			
	Sunflower meal	Soybean meal	Deoiled rice bran	Broiler starter diet
Control	4.24[d]	3.39[e]	4.69[d]	5.16[e]
Enzyme-1[1]				
0.1%	6.46[b]	4.01[d]	6.27[ab]	6.34[bc]
0.2%	7.26[a]	4.65[ab]	6.67[a]	7.20[a]
Enzyme-2[2]				
0.06%	6.25[b]	4.11[cd]	5.95[b]	5.98[cd]
0.12%	6.79[ab]	4.56[abc]	6.30[ab]	6.75[ab]
Enzyme-3[3]				
0.12%	4.69[cd]	4.32[bcd]	5.24[c]	5.32[e]
0.24%	5.28[c]	4.82[a]	5.89[b]	5.66[de]
Pooled SEM	0.18	0.13	0.12	0.15

ที่มา: Meng and Slominki (2005)

[a – e] Means within a column with no common superscript differ significantly (P<0.05)

[1] Enzyme-1 = Xylanase 900 U/g, Cellulase 12 FPU/g

[2] Enzyme-2 = Xylanase 680 U/g, Cellulase 18 FPU/g

[3] Enzyme-3 = Xylanase 450 U/g, Cellulase 4.5 FPU/g and Pectinase 4,500 U/g

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.12 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

Treatment	NSP (%)	Vicosity (mPa*s)	Starch (%)	Protein (%)	References
Control	6.3[b]	3.3[a]	92.6[c]	73.2[c]	Meng et al.
C + P	14.0[a]	2.3[b]	94.7[b]	76.3[b]	(2005)[1]
C + XG	14.0[a]	2.2[b]	95.7[ab]	77.5[b]	
C + P + XG	12.8[a]	2.3[b]	95.6[ab]	77.2[b]	
C + P + XG + MC	14.9[a]	2.2[b]	96.7[a]	79.8[a]	
Corn	8.2[b]	-	97.6	-	Meng and
Corn + enzyme	13.4[a]	-	98.2	-	Slominski
Corn + SBM	9.4[b]	-	96.0	-	(2005)[2]
Corn + SBM + enzyme	21.1[a]	-	97.2	-	
Corn + canola meal	7.6[b]	-	96.0	-	
Corn + canola meal + enzyme	16.9[a]	-	96.3	-	
Corn + peas	4.5[b]	-	91.6	-	
Corn + peas + enzyme	9.5[a]	-	92.9	-	

[a – c] Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Main enzyme activities: C = cellulase; P = pectinase; XG = xylanase and glucanase; MC = mannanase and cellulase which all enzymes were added at 0.1 g/kg

[2] Multicarbohydrase enzymes: cellulase, pectinase, xylanase glucanase, mannanase and galactanase

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.13 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

Age (days)	Treatment	Feed intake (g)	Body weight gain (g)	FCR	References
20	Corn base diet	899[a]	605[a]	1.48[b]	Mathlouthi et al. (2002)
	Wheat and barley base diet	714[b]	438[b]	1.64[a]	
	Wheat and barley base diet + E[1]	924[a]	619[a]	1.49[b]	
18	Corn	478[a]	313[a]	-	Mathlouthi et al. (2002)
	Rye	397[b]	178[b]	-	
	Rye + E[2]	524[a]	281[a]	-	
49	Wheat	4,026	1,652[b]	2.43[a]	Gao et al. (2007)
	Wheat + xylanase	4,169	1,775[a]	2.34[b]	
42	Corn	3271[b]	1371[b]	2.47[a]	Alam et al. (2003)
	Corn + alquerzim	3310[a]	1525[a]	2.24[b]	
	Corn + roxazyme	3332[a]	1563[a]	2.19[c]	
	Corn + feedzyme	3298[a]	1519[a]	2.24[b]	
18	Wheat	682	466[a]	1.46[a]	Meng et al. (2004)
	Wheat + carbohydrase	692	491[b]	1.41[b]	
18	Control	668	436[b]	1.53[a]	Meng et al. (2005)[3]
	C + P	687	459[a]	1.50[b]	
	C + XG	695	470[a]	1.48[b]	
	C + P + XG	678	456[a]	1.49[b]	
	C + P + XG + MC	676	466[a]	1.45[c]	

[a – c] Means within a column with no common superscripts differ significantly (P <0.05).

[1] E = xylanase and β-glucanase 20 mg/kg of diet

[2] E= xylanase and glucanase 20 mg/kg of diet

[3] Main enzyme activities: C = cellulase; P = pectinase; XG = xylanase and glucanase; MC = mannanase and cellulase. All enzymes were added at 0.1 g/kg of respective diet.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.13 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่ไข่

การเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับชนิดของเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดนั้น ๆ เช่น การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารที่มีข้าวสาลี หรือเอนไซม์กลูคาเนสในอาหารที่มีข้าวบาร์เล่ย์เป็นวัตถุดิบหลัก เป็นต้น ผลการรวบรวมเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เอนไซม์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.14 โดย Onu (2013) พบว่าการเสริมเอนไซม์ Roxazyme ร่วมกับการใช้ Heat treated sheep manure (HSM) (5, 10 และ 15%) สามารถเพิ่มผลผลิตไข่ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ เช่นเดียวกับ Mourao et al. (2006) ที่ศึกษาการใช้อัลฟัลฟ่าเสริมเอนไซม์รวม (Roxazyme G, Avizyme 1100 และ Avizyme 1300) พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และมวลไข่ได้สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม และ Costa et al. (2008) พบว่าการเสริมเอนไซม์ (Allzyme) ในอาหารสามารถเพิ่มผลผลิตไข่และมวลไข่ได้สูงขึ้น

เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ใช้ในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์รวม โดยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้สูงขึ้น หรือเทียบเท่ากับกลุ่มควบคุมหากเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูง เช่น อัลฟัลฟ่า ข้าวสาลี เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในบางงานทดลองก็พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และมวลไข่ (Zanu et al., 2013; Vukic and Wenk, 1996)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.14 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่

	FI (g/d)	FCR	Egg production (%)	Egg weight (g)	Egg mass (g)	References
Rye	109.7	-	0.781[a]	64.2[a]	50.1[a]	Mourao et al. (2006)[1, 2]
Rye + alfalfa	103.7	-	0.711[b]	63.5[b]	45.2[b]	
Rye + enzyme	106.9	-	0.746[a]	63.8[a]	47.6[a]	
Rye + alfalfa + enzyme	106.5	-	0.745[a]	63.9[a]	47.6[a]	
F - Test						
Alfalfa	0.382	-	0.001	0.029	0.000	
Enzyme	0.958	-	0.000	0.777	0.993	
Alfalfa x Enzyme	0.531	-	0.001	0.735	0.599	
Control	137.09[c]	2.21	68.43[ab]	61.91	-	Onu (2013)
5% HSM	136.94[c]	2.24	65.13[bc]	61.16	-	
5% HSM + Roxazyme	134.25[d]	2.19	71.65[a]	61.23	-	
10% HSM	140.81[b]	2.26	64.87[bc]	62.49	-	
10% HSM + Roxazyme	137.88[c]	2.18	74.43[a]	63.29	-	
15% HSM	144.39[a]	2.27	59.83[c]	63.56	-	
15% HSM + Roxazyme	138.98[c]	2.21	68.23[ab]	62.91	-	
Positive control	125.9	-	55.80[b]	71.70	40.00[bc]	Costa et al. (2008)[3]
Negative control	126.6	-	49.90[c]	73.40	36.60[c]	
Reformulated diet with enzyme	130.3	-	57.80[ab]	71.30	41.20[ab]	
Enzyme on top	126.9	-	61.00[a]	73.70	44.90[a]	

ตารางที่ 2.14 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ (ต่อ)

	FI (g/d)	FCR	Egg production (%)	Egg weight (g)	Egg mass (g)	References
Control	150	3.9a	67.0	57.3	38.3	Zanu et al.
5% CLM[4] + xzyme	151	4.3b	62.3	57.3	35.6	(2011)
10% CLM + xzyme	151	4.1c	62.5	57.9	36.9	
Control	108	2.02	93.3	-	53.5	Vukic et al.
Contol + Enzyme	113	2.00	95.5	-	56.4	(1996)[5]
Control + Antibiotic	112	2.01	94.0	-	55.8	
Control + Combination	111	2.07	91.1	-	53.6	
P – Value						
Enzyme	-	0.46	0.59	-	0.46	
Antibiotic	-	0.71	0.58	-	0.71	
Age	-	0.47	*	-	*	
Enzyme x Antibiotic	-	0.66	0.47	-	0.52	
Enzyme x Age	-	0.63	0.61	-	0.64	
Antibiotic x Age	-	0.78	0.45	-	0.76	
Enzyme x Age x Antibiotic	-	0.75	0.88	-	0.71	
Control	95.3	1.83^{ab}	89.5	58.5^{a}	52.4^{a}	Mirzaie
23% wheat	94.8	1.81^{b}	89.3	58.8^{a}	52.6^{a}	et al. (2012)
46% wheat	94.2	1.83^{ab}	89.8	57.7^{ab}	51.9^{ab}	
69% wheat	93.6	1.88^{a}	88.1	56.8^{b}	50.1^{b}	
Xylanase						
+	94.4	1.85^{a}	88.5^{b}	51.1^{b}	51.1^{b}	
-	94.6	1.81^{b}	89.8^{a}	52.3^{a}	52.3^{a}	

[a-d] Means within a column with different letters are significantly different (P< 0.05), [1] Egg production = egg/day; [2] Cocktail enzymes (0.01% Roxazyme, 0.1% Avizyme 1100 0.1% and 0.3% Avizyme 1300); [3] Allzyme; [4] Cassava leaf meal; [5] Enzymes = Cellulase (10,500 U), Glucanase (24,000 U), Xylanase (32,000 U); Antibiotic = flavophospholipol

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลัง กากมันปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 การทดลอง คือการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และแอมโมเนีย การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และการทดลองที่ 6 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวมต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

นำกากมันสำปะหลังสดที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมาตากให้แห้ง นำไปบดให้ได้ขนาดประมาณ 1.0 มิลลิเมตร จากนั้นนำกากมันสำปะหลังแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำไปทำการทดลอง โดยองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองได้แสดงในตารางที่ 3.1

ก่อนทำการทดลอง ได้ทำการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True metabolizable energy, TME) ของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ ตามวิธีของ Sibbald (1976) เพื่อนำค่าที่ได้ไปประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ โดยมีวิธีการดังนี้ คือ ใช้ไก่ไข่พันธุ์ อีซ่า บราวน์ จำนวน 10 ตัว นำมาเลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวที่มีถาดรองรับมูลใต้กรง ทำการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ไม่อดน้ำ) เพื่อให้ไก่

ไข่ขับถ่ายอาหารที่เหลือในระบบทางเดินอาหารออกให้หมด แบ่งไก่ไข่ออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ กลุ่มแรกให้อดอาหารต่อจนเสร็จสิ้นการทดลอง (24 ชั่วโมง) กลุ่มที่สองทำการป้อน (forced feeding) กากมันสำปะหลัง 20 กรัม เมื่อครบระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังการป้อนกากมันสำปะหลัง ทำการเก็บและบันทึกน้ำหนักมูลของไก่ทุกตัว นำมูลที่ได้ทั้งหมดไปอบให้แห้งบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปวัดค่าพลังงานและทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

3.1.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่าบราวน์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 48 ตัว เลี้ยงในกรงขังเดี่ยวเป็นระยะเวลา 4 วัน เพื่อให้ไก่ชินกับสภาพแวดล้อมก่อนเริ่มการทดลอง จากนั้นแบ่งไก่ออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ๆ ละ 1 ตัว โดยไก่ในแต่ละหน่วยการทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย และอัตราการให้ไข่ใกล้เคียงกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว (metabolic cage) เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ โดยไก่ทุกตัวได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง (*ad libitum*) ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน เก็บมูลเพื่อวิเคราะห์ในช่วง 6 – 10 วัน หลังจากได้รับอาหารทดลอง

3.1.3 อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ โดยมีการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% ในสูตรอาหาร โดยอาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดสูตรอาหารได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 อาหารการทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 สูตรควบคุม (control)
กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 5%
กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10%
กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 15%
กลุ่มที่ 5 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20%
กลุ่มที่ 6 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25%

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2

Ingredients	Dried cassava pulp (%)					
	Control	5	10	15	20	25
Corn	50.00	45.00	40.00	35.00	30.00	25.00
Meat meal, 60% CP	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Soybean meal, 44% CP	15.86	16.73	17.65	18.57	19.50	20.32
Full fat soybean meal	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Rice bran	10.90	9.42	7.87	6.33	4.77	3.29
Cassava pulp	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
Rice bran oil	1.76	2.37	2.99	3.60	4.22	4.88
Salt	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
DL – Methionine	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22
Calcium carbonate	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
Dicalcium phosphate	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Premix[1]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Calculated composition, %						
ME, kcal/kg	2851	2851	2851	2851	2851	2851
Calcium	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Methionine	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.46
Methionine + Cystine	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.66
Lysine	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92
Analyzed composition, %						
Dry matter	90.26	91.63	91.15	91.50	91.43	91.84
Crude protein	18.36	18.36	18.20	18.57	18.63	18.61
Crude fiber	3.14	4.54	4.73	5.24	5.78	6.31

[1]Premix (0.25%) = vitamin A, 11,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 11 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2 mg; vitamin B_2, 6 mg; vitamin B_6, 3 mg; vitamin B_{12}, 0.011 mg; pantothenic acid, 11 mg; niacin, 20 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.04 mg; Cu, 10 mg; Mn, 80 mg; Zn, 80 mg; Fe, 75 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.25 mg

3.1.4 เก็บมูล เพื่อการศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

ทำการเก็บมูลทั้งหมด (total collection) ที่ได้จากไก่วันละ 1 ครั้ง ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บมูลในถาดพลาสติกที่รองอยู่ใต้กรง สเปรย์มูลที่เก็บด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% (5% HCl) เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน และนำมูลของไก่แต่ละตัวที่ได้รับในแต่ละวันไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ให้แห้ง แล้วนำมาบด จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมี และทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ คือ น้ำหนักตัวของไก่ไข่ก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักมูลในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง และทำการบันทึกทุกครั้งเมื่อมีไก่ตาย

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้ของโภชนะ โดยปัจจัยที่ศึกษาคำนวณจากสูตร โดยมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้

1) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} - \text{น้ำหนักมูล}) \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}$$

2) การย่อยได้ของโภชนะ (nutrient digestibility)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักอาหาร} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{น้ำหนักมูล} \times \%\text{โภชนะในมูล}) \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหาร} \times \%\text{โภชนะในอาหาร})}$$

หมายเหตุ: น้ำหนักอาหารและมูลอยู่ในรูปของน้ำหนักแห้ง

3.1.5 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอาหารโดยวิเคราะห์หาค่าความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เยื่อใย และวิเคราะห์หาโภชนะในมูลโดยวิเคราะห์หาค่าความชื้น โปรตีน และเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ และทำการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ หาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DUNCAN) และวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (2004)

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และค่าทางชีวเคมีของโลหิต นอกจากนี้เยื่อใยในกากมันสำปะหลังอาจถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย ซึ่งอาจทำให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์สามารถเจริญเติบโต เปลี่ยนแปลงการผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย

3.2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1

3.2.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์ อิซ่าบราวน์ อายุ 30 สัปดาห์จำนวน 288 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 12 ตัว โดยเลี้ยงไก่ในกรงตับซึ่งแต่ละกรงที่สามารถใส่ไก่ได้ 3 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ให้ไก่ไข่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง โดยให้อาหารในรางอาหารด้านหน้ากรง และมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple) มีระยะเวลาในการทดลอง 90 วัน แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์

3.2.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองเป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ โดยมีสูตรอาหารทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 3.1) อาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994)

3.2.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา

การบันทึกผลการทดลองแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ ของการทดลอง โดยแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์

2) บันทึกข้อมูลไก่ไข่ จำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ทุกวัน

3) สรุปข้อมูลทุกช่วงการทดลอง เพื่อหา

3.1) การศึกษาสมรรถนะการผลิต (Production performance)

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวไก่ไข่ก่อน และสิ้นสุดการทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และทำการบันทึกทุกครั้งที่มีไก่ตาย

- ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake: FI, กรัม/ตัว)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวัน (วัน)} \times \text{จำนวนไก่ที่เหลือเมื่อสิ้นสุด (ตัว)}}$$

- ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)}}$$

- อัตราการตาย (mortality rate, %)

$$= \frac{(\text{จำนวนไก่ตาย} + \text{คัดทิ้งทั้งหมด}) \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้น (ตัว)}}$$

ทำการบันทึกผลผลิตไข่ไก่ น้ำหนักไข่ในแต่ละวัน และทำการบันทึกเมื่อมีการแตกร้าวของไข่ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ และเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว

- ผลผลิตไข่ (egg production, %)

$$= \frac{\text{จำนวนไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)} \times 100}{\text{จำนวนวัน (วัน)} \times \text{จำนวนไก่ในช่วงการทดลอง (ตัว)}}$$

- น้ำหนักไข่เฉลี่ย (egg weight, กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

- มวลไข่ (egg mass, กรัม)

= น้ำหนักไข่ – น้ำหนักเปลือกไข่

3.2) การศึกษาคุณภาพไข่ไก่

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ โดยวัดคุณภาพไข่ในทุก 2 สัปดาห์ คือ ทุกสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ของแต่ละเดือน โดยทำการสุ่มไข่จำนวน 4 ฟองต่อซ้ำ เพื่อวัดคุณภาพไข่ไก่ ได้แก่ ความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ สีของไข่แดง น้ำหนักไข่แดง และคุณภาพไข่ขาว (Haugh unit)

- ความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) วัดความหนาเปลือกไข่เฉลี่ย 3 จุด
- สีของไข่แดง สังเกตได้จากสีชัดมากจนกระทั่งมีสีเข้ม โดยมีระดับความเข้มของสีไข่แดงตั้งแต่เบอร์ 0 – 15 เทียบกับพัดสีโรช
- ความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวกับขอบไข่แดงโดยวัดความสูงไข่ขาวด้วยเวอร์เนีย
- คุณภาพไข่ขาว (Haugh unit, %) ภายหลังจากวัดสีไข่แดงทำการวัดค่า Haugh unit โดยการวัดความสูงของไข่ขาวและคำนวณหาค่า Haugh Unit ดังสมการของ Nesheim et al. (1979)

ค่า Haugh unit = $100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด ที่จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวและขอบไข่แดง

- น้ำหนักเปลือกไข่ แยกเปลือกไข่ออกจากไข่ ชั่งน้ำหนักเปลือก (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- น้ำหนักไข่แดง แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่แดง เพื่อหาน้ำหนักไข่แดง และคำนวณตามสูตร (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่แดงทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

- น้ำหนักไข่ขาว แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่ขาว เพื่อหาน้ำหนักไข่ขาวและคำนวณตามสูตร (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่ขาวทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

3.3) ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

- ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (กำไรเบื้องต้น, บาท)

= มูลค่าการขายไข่ – ค่าอาหาร

- รายได้จากการขายไข่ (บาท)

= จำนวนไข่ทั้งหมด × ราคาต่อฟอง 2.40 บาท

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยราคาไข่ไก่คละหน้าฟาร์ม เดือน ม.ค. – ธ.ค. ปีพ.ศ. 2555 (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย, 2556)

3.4) การศึกษาค่าทางชีวเคมีทางโลหิตในไก่ไข่

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ทุกกลุ่มการทดลองซ้ำละ 1 ตัว เพื่อเจาะเลือดบริเวณปีก (wing vein) ใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 23 เริ่มดูดเลือดอย่างช้า ๆ จนได้ประมาณ 3 มิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่างเลือดในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด ชนิด Ethylene diaminetetra acetic acid (EDTA) และเก็บตัวอย่างเลือดทั้งหมดแช่ในกระติกน้ำแข็งเพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บตัวอย่างเลือดซึ่งเป็นส่วนของพลาสมา (plasma) และนำไปวิเคราะห์ค่าทางชีวเคมีของโลหิตต่อไป

- การวิเคราะห์ค่าคอเลสเตอรอลในเลือด (total blood cholesterol) โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Allain et al. (1974)

- การวิเคราะห์ค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen: BUN) (Anino and Giese, 1976)

3.5) การศึกษาปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

เมื่อเสร็จสิ้นการวัดคุณภาพไข่ ทำการแยกไข่แดงออกจากไข่ขาว นำไข่แดงแต่ละซ้ำมาตีรวมกันเก็บที่อุณหภูมิ –20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์คอเลสเตอรอลที่เป็นองค์ประกอบในไข่แดงต่อไป โดยวิเคราะห์ตามวิธีของ Rowe et al. (1999) นำไข่แดงมาสกัดไขมันด้วยสาร chloroform – methanol และสกัดคอเลสเตอรอลออกจากไลโปโปรตีน ทำการชั่งตัวอย่างไข่แดงที่บดละเอียด 5 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม เติมสารคลอโรฟอร์มต่อเมทานอลต่อไอโซโพรพานอลในอัตราส่วน 90 : 5 : 5 (chloroform – methanol – isopropanol) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 60% (60% KOH) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (1 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง 1 กรัม) เขย่าให้เข้ากัน ทำการสกัดแบบไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาวางให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และเติม hexane ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้นของ hexane อย่างชัดเจนซึ่งจะอยู่ชั้นบนของขวด ทำการแยกสารละลาย hexane ใส่ขวดรูปกรวย และทำการปิเปตสารละลายปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ทำให้แห้ง (dry) ด้วยไนโตรเจน (N_2) แล้วนำสารส่วนที่แห้งมาละลายด้วยสารมาตรฐาน (internal standard) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยสาร hexane ที่มี 5 – แอลฟาคอเลสเตอรอล (5 – α cholesterol) อยู่ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดูดสารใส่ขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial) นำไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography) (Hewlett Packard, HP 6890 series GC)

3.6) การศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ซ้ำละ 1 ตัวทุกกลุ่มการทดลองโดยไม่ต้องทำการอดอาหารจากนั้นทำให้สลบและทำการฆ่า จากนั้นเก็บตัวอย่างของเหลว (digesta) บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (cecum) โดยซีกัมด้านซ้ายใช้สำหรับการศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารและศึกษาแอมโมเนีย และซีกัมด้านขวาใช้สำหรับการศึกษากรดไขมันระเหยได้ โดยเก็บตัวอย่างของเหลวในขวดปลอดเชื้อบรรจุใส่ในถุงเพื่อนำไปตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ ทุกขั้นตอนการเก็บตัวอย่างต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากอากาศ ซึ่งถุงตัวอย่างทั้งหมดต้องแช่เย็นในน้ำแข็ง เพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการและตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

นำตัวอย่างของเหลวจากลำไส้ใหญ่มาเจือจางเชื้อ (dilution plate count) เพิ่มครั้งละ 10 เท่าเป็นลำดับ (ten – fold serial dilution) ตามวิธีของ Michael and Burton (1995) นำมาทำการเจือจางด้วยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (0.85% NaCl) เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในแต่ละเชื้อ โดยทำการเลือกระดับความเข้มข้นมา 2 ระดับ เพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับเชื้อ โดยระดับความเข้มข้นของตัวอย่างของเหลว (digesta) บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมที่เหมาะสมของเชื้อ *E. coli* คือที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} และ 10^{-3} เชื้อ *Lactobacillus spp.* คือที่

ระดับความเข้มข้น 10^{-6} และ 10^{-7} เท่า และเชื้อ *Bifidobacterium spp.* คือที่ระดับความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-6} เท่า ซึ่งอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ต้องการให้เจริญได้เท่านั้นโดยนำตัวอย่างของเหลวมาตรวจนับเชื้อต่าง ๆ ในอาหารดังต่อไปนี้

E. coli เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MacCONKEY – agar (MCK agar) นำจานเลี้ยงเชื้อ บรรจุในถุงพลาสติกและบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Bifidobacterium spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Reinforced Clostridia agar นำจานเลี้ยงเชื้อ บรรจุในถุงพลาสติก และใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Lactobacillus spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) นำจานเลี้ยงเชื้อ บรรจุในถุงพลาสติก และใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.7) การศึกษากรดไขมันระเหยได้บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ซ้ำ 1 ตัวโดยไม่ต้องทำการอดอาหารจากนั้นทำให้สลบและฆ่า ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมด้านขวา จากไก่แต่ละกลุ่มการทดลองประมาณ 5 กรัมเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตามวิธีของ Zdunczyk et al. (2005) โดยชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัมเติมกรดฟอร์มิค (formic acid) จำนวน 200 ไมโครลิตรลงในไมโครทิว (micro tube) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 × g เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C ทำการดูดส่วนใสด้านบนมาใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography)

3.8) การศึกษาแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

ใช้ตัวอย่างของเหลวจากบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมจากไก่ชุดเดียวกันที่สุ่มฆ่าเพื่อเก็บจุลินทรีย์ และนำตัวอย่างของเหลวที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียตามวิธีของ Willis et al. (1996) และวิเคราะห์โดยทำการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม เติมสารละลายลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) จำนวน 50 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 30,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสมาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว โดยพยายามอย่าให้สารละลายติดบริเวณขอบหลอดทดลองเติมสารซาลิไซเลตรีเอเจนท์ (salicylate reagent) จำนวน 4 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าด้วยเครื่อง vortex จากนั้นจึงเติมสารไฮโปคลอไรด์ (hypochlorite) จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำไปวัดวัดค่า

การดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 685 นาโนเมตร โดยใช้ tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0

3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติหาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี ANOVA ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี DUNCAN และทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (2004)

3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ โดยทำการหมักกากมันสำปะหลังตามวิธีของ Thongkratok et al. (2010) ซึ่งได้รายงานว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ร่วมกับยูเรียที่ระดับ 0.75% และหมักเป็นเวลา 4 วัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มโปรตีนของกากมันสำปะหลังได้ดีที่สุด

3.3.1 การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae*

1) การเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *A. oryzae* ในหลอดทดลองเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร Potato-Dextrose - Agar (PDA) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน เพื่อนำไปใช้เป็นต้นเชื้อ จากนั้นเติมสารละลายน้ำเกลือ 0.85% ที่นึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที ในปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใช้เข็มเขี่ยเพื่อลอกเอาสปอร์ของเชื้อรา *A. oryzae* ออกจากอาหาร PDA เพื่อใช้ในการเตรียมหัวเชื้อรา *A. oryzae* ต่อไป (ภาพที่ 3.1)

2) การเตรียมหัวเชื้อรา *A. oryzae*

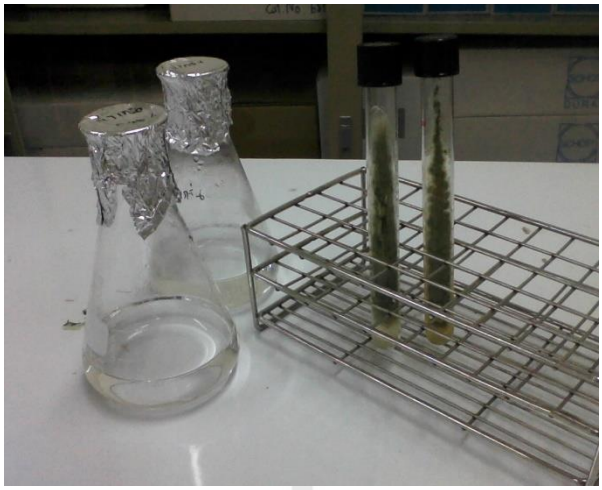
นำข้าวสาร 1,000 กรัม แช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เวลา 15 นาที และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae* ที่เตรียมไว้มาเจือจางกับน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาณ 100 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ได้ไปคลุกให้ทั่วบนข้าวสารที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว กระจายให้เต็มถาดปิดด้วยกระดาษฟอยด์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C นำหัวเชื้อที่ได้ไปบดละเอียดขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร และทำการตรวจนับสปอร์ของเชื้อราด้วยวิธีการนับจำนวนโคโลนี เพื่อหาความเข้มข้นของหัวเชื้อที่ใช้ในการหมัก (ภาพที่ 3.2)

3) การเตรียมเครื่องหมักกากมันสำปะหลัง

ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการออกแบบเครื่องหมักกากมันสำปะหลังให้ถังหมักมีสเกลใหญ่ขึ้นคือ 100 กิโลกรัม โดยใช้เครื่องผสมอาหารชนิดถังนอนภายในเป็นสแตนเลส นำมาประยุกต์ดัดแปลงสำหรับใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อ และหมักกากมันสำปะหลัง โดยภายนอกตัวเครื่องหมักประกอบด้วยฮีตเตอร์ที่ติดอยู่ด้านล่างของตัวถัง เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และชุดควบคุมอุณหภูมิ สำหรับควบคุมการให้ความร้อนของฮีตเตอร์ มีการติดฉนวนกันความร้อนรอบตัวถังเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (ภาพที่ 3.3) ส่วนภายในถังหมักจะมีใบพัดหรือใบกวน (ภาพที่ 3.4) เพื่อใช้กวนกากมันสำปะหลังระหว่างการให้ความร้อนเพื่อให้ความร้อนกระจายได้ทั่วถึงกากมันสำปะหลัง และใช้สำหรับคลุกเคล้าเชื้อจุลินทรีย์กับกากมันสำปะหลังระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งก่อนทำการทดลองได้ทำการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องหมัก และพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีผลช่วยในการลดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกากมันสำปะหลังได้ดีที่สุด

4) การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก

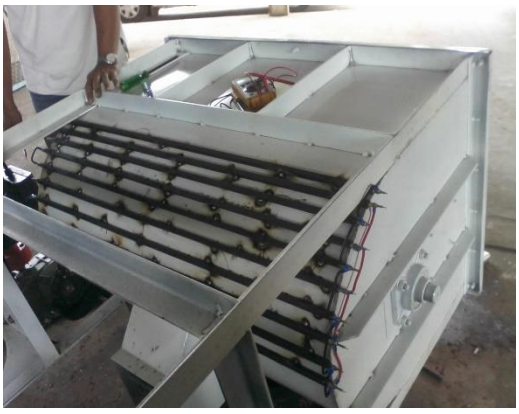
นำกากมันสำปะหลังสดจำนวน 100 กิโลกรัม ที่ได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมานึ่งด้วยเครื่องหมักกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นในถังหมัก (รายละเอียดเครื่องหมักกากมันสำปะหลังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.3.1 ข้อ 3) จากนั้นผสมน้ำกลั่น (อัตราส่วนของกากมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัม เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) กับยูเรีย 0.75% (คิดจากน้ำหนักกากมันสำปะหลังสด) เพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน และเติมหัวเชื้อรา *A. oryzae* 1% (ความเข้มข้น 4.9×10^6 CFU) คลุกเคล้าในเข้ากันแล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน (ภาพที่ 3.5) ทำการกลับกากมันสำปะหลังหมักวันละครั้งเพื่อให้เชื้อรา *A. oryzae* เจริญบนกากมันได้อย่างทั่วถึง เมื่อครบเวลาการหมักนำกากมันสำปะหลังหมักที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 – 60 °C กากมันสำปะหลังหมักที่อบแห้งแล้วนำไปบดให้มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำไปใช้ประกอบสูตรอาหารทดลอง เช่น ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนตามวิธีของ AOAC (2000)



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของเชื้อรา *A. oryzae* และสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*

(ก) **(ข)**

ภาพที่ 3.2 ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 15 นาที (ก) และหัวเชื้อรา *A. oryzae* ที่เจริญเติบโตในข้าวสาร (ข)



ภาพที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ภายนอกเครื่องหมักกากมันสำปะหลังประกอบด้วยฮีตเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์ ชุดควบคุมอุณหภูมิ และฉนวนกันความร้อน

ภาพที่ 3.4 ลักษณะภายในเครื่องหมักกากมันสำปะหลังที่มีใบพัดหรือใบกวน

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.5 แสดงกากมันสำปะหลังที่ผ่านการนึ่งด้วยเครื่องหมักที่อุณหภูมิ 100 ℃ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ก) เครื่องหมักกากมันสำปะหลังโดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 4 วัน (ข)

ทำการศึกษาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงตามวิธีของ Sibbald (1976) เพื่อนำค่าที่ได้เป็นข้อมูลสำหรับประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ในการทดลอง โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1 ซึ่งโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักแสดงในตารางที่ 4.8

3.3.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 46 สัปดาห์ จำนวน 48 ตัว เลี้ยงในกรงขังเดี่ยวเป็นระยะเวลา 4 วัน เพื่อปรับไก่ให้ชินกับสภาพแวดล้อมก่อนเริ่มการทดลอง จากนั้นทำการแบ่งไก่ออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ๆ ละ 1 ตัว ระยะเวลาในการทดลอง 10 วัน ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยไก่ในแต่ละหน่วยการทดลองมีน้ำหนักตัว และอัตราการให้ไข่ใกล้เคียงกัน มีการให้อาหารและน้ำแบบเต็มที่ตลอดการทดลอง

3.3.3 อาหารทดลอง

ทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร คือ 0, 8, 16, 24, 32 และ 40% ตามลำดับ สูตรอาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีน พลังงานเท่ากัน และมีองค์ประกอบของโภชนะเพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ในระยะให้ไข่ตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดของสูตรอาหารทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

อาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 สูตรควบคุม (control)

กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 8%

กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 16%
กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 24%
กลุ่มที่ 5 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32%
กลุ่มที่ 6 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 40%

3.3.4 การเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

มีวิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.4

3.3.5 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลอง และวิเคราะห์หาโภชนะในมูลไก่ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และ เถ้า ตามวิธี AOAC (2000) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ โดยมีสูตรคำนวณเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.4

3.3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติหาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี ANOVA ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี DUNCAN และวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS (2004)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร กรดไขมันระเหยได้และแอมโนเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร กรดไขมันระเหยได้และแอมโนเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิตในไก่ไข่

3.4.1 การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1

3.4.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ อายุ 54 สัปดาห์ จำนวน 192 ตัว และทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำมีไก่ไข่ 12 ตัว โดยเลี้ยงไก่ไข่ในกรงตับ ซึ่งในแต่ละกรงมีไก่จำนวน 3 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 8 สัปดาห์ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในการทดลองมีการให้อาหาร และน้ำแบบเต็มที่

3.4.3 อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ที่ระดับ 0, 16, 24 และ 32% ในสูตรอาหาร เนื่องจากผลของการทดลองที่ 3 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0 – 32% ไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนกลุ่มการทดลองดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยอาหารทดลองคำนวณให้มีระดับพลังงาน โปรตีนเท่ากัน และมีองค์ประกอบของโภชนะเพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ในระยะให้ไข่ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) ส่วนประกอบและองค์ประกอบของโภชนะในอาหารทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 สูตรควบคุม (control)

กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 16%

กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 24%

กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32%

3.4.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และค่าทางชีวเคมีของโลหิต ได้แก่ ปริมาณเอนไซม์ Alanine aminotransferase (ALT) เอนไซม์ Aspartate aminotransferase (AST) การวิเคราะห์ยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen) ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันด้วยการวิเคราะห์ปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน (total Immunoglobulin) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.2.4 ข้อ 3.5 – 3.7 ส่วนค่าเอนไซม์ ALT, AST และปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 8 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ทุกกลุ่มการทดลอง ซ้ำละ 2 ตัว เพื่อเจาะเลือดบริเวณใต้ปีก (wing vein) โดยใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 23 เก็บเลือดในหลอดเก็บตัวอย่างเลือดที่ไม่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำตัวอย่างไปเก็บในกระติกน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิ 4 ºC เพื่อนำตัวอย่างเลือดไปวิเคราะห์ค่าเอนไซม์ ALT และ AST โดยใช้เครื่อง Automatic Clinical Chemistry (A15 Analyzer) ส่วนการเก็บซีรัม นำตัวอย่างเลือดมาตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 ºC จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วเก็บส่วนซีรัม เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน (total Immunoglobulin G) โดยใช้ชุดทดสอบ Total protein kit (Micro Lowry, Peterson's Modification)

3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี ANOVA ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยด้วยวิธี DUNCAN และวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS (2004)

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 3 และ 4

		Fermented cassava pulp (%)				
Ingredients	Control	8%	16%	24%	32%	40%
Corn	52.00	44.00	36.00	28.00	20.00	12.00
Meat meal, 61% CP	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57
Soybean meal, 44% CP	9.02	7.86	7.11	6.18	5.38	4.55
Full-fat soybean	11.70	11.70	11.70	11.70	11.70	11.70
Rice bran	9.95	9.70	8.94	8.38	7.66	7.00
Rice bran oil	0.10	1.48	2.93	4.36	5.81	7.25
Fermented cassava pulp	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00	40.00
Salt	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
DL-methionine	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.30
Calcium carbonate	8.65	8.61	8.59	8.56	8.55	8.52
Dicalcium phosphate	0.30	0.34	0.39	0.44	0.49	0.54
Premix[1]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Calculated composition, %						
ME, kcal/kg	2850	2850	2850	2850	2850	2850
Calcium	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Lysine	0.89	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
Methionine	0.42	0.43	0.44	0.46	0.48	0.49
Methionine + Cystine	0.63	0.63	0.62	0.63	0.63	0.63
Analyzed composition, %						
Dry matter	91.66	91.96	92.37	92.68	93.23	93.35
Crude protein	17.22	16.99	17.03	17.01	16.98	17.03
Crude fiber	3.51	4.08	4.61	5.16	5.69	6.24

[1]Premix (0.25%) = vitamin A, 11,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 11 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2 mg; vitamin B_2, 6 mg; vitamin B_6, 3 mg; vitamin B_{12}, 0.011 mg; pantothenic acid, 11 mg; niacin, 20 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.04 mg; Cu, 10 mg; Mn, 80 mg; Zn, 80 mg; Fe, 75 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.25 mg

3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

การทดลองครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ที่ประกอบเอนไซม์เซลลูเลส กลูคาเนส และไซลาเนส ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

3.5.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1

3.5.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่าบราวน์ อายุ 55 สัปดาห์ จำนวน 45 ตัว แบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ตัว โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ โดยไก่ทุกตัวได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน เก็บมูลเพื่อวิเคราะห์ในช่วง 6 – 10 วันหลังจากได้รับอาหารทดลอง

3.5.3 อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (Roxazyme® – G2G) ที่ประกอบไปด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (endo–1,4–β–glucanase) บีต้า–กลูคาเนส (endo–1,3(4)–β–glucanase) และไซลาเนส (endo–1,4–β–xylanase) ที่ระดับ 0.10 และ 0.15 % ในอาหารไก่ไข่ที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 20, 25, 30 และ 35% โดยอาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากัน ตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดสูตรอาหารได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 9 กลุ่มประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 สูตรควบคุม (control)
กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20% + 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% + 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 30%+ 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 5 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 35% + 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 6 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20% + 0.15% Roxazyme
กลุ่มที่ 7 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% + 0.15% Roxazyme
กลุ่มที่ 8 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 30%+ 0.15% Roxazyme
กลุ่มที่ 9 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 35% + 0.15% Roxazyme

3.5.4 การเก็บมูลเพื่อศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

ทำการเก็บมูลทั้งหมด ที่ได้จากไก่วันละ 1 ครั้ง ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บมูลในถาดพลาสติกที่รองอยู่ใต้กรง สเปรย์มูลที่เก็บด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.4

3.5.5 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอาหารโดยวิเคราะห์หาค่าความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เยื่อใย และวิเคราะห์หาโภชนะในมูลโดยวิเคราะห์หาค่าความชื้น โปรตีน และเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่

3.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี DUNCAN โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (2004)

3.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารในไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

3.6.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1

3.6.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์ อิซ่าบราวน์ ที่อายุ 32 สัปดาห์ จำนวน 336 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 7 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 12 ตัวโดยเลี้ยงไก่ทดลองในกรงตับที่สามารถใส่ไก่ได้ 3 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยให้ไก่ไข่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง มีระยะเวลาในการทดลอง 90 วัน แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์

3.6.3 อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่ไข่ โดยมีสูตรอาหารทดลองคล้ายกับการทดลองที่ 5 อาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994)

กลุ่มที่ 1 สูตรควบคุม
กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลัง 20% + 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลัง 25% + 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลัง 30%+ 0.1% Roxazyme
กลุ่มที่ 5 กากมันสำปะหลัง 20% + 0.15% Roxazyme
กลุ่มที่ 6 กากมันสำปะหลัง 25% + 0.15% Roxazyme
กลุ่มที่ 7 กากมันสำปะหลัง 30%+ 0.15% Roxazyme

3.6.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา

มีลักษณะที่ต้องการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และ 4 คือ

1) สมรรถนะการผลิตไข่ ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร อัตราการตาย ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย และมวลไข่

2) คุณภาพไข่ ได้แก่ ความหนาเปลือกไข่ สีของไข่แดง ความสูงไข่ขาว คุณภาพไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง และน้ำหนักไข่ขาว

3) ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

4) การศึกษาค่าทางชีวเคมีทางโลหิต คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมโดยมีวิธีการเก็บข้อมูล การคำนวณ และการวิเคราะห์เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.4

3.6.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี DUNCAN และ Orthogonal contrasts โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS (2004)

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 5 และ 6

Ingredients	Control	0.10% mixed enzymes				0.15% mixed enzymes			
		20% DCP	25% DCP	30% DCP	35% DCP	20% DCP	25% DCP	30% DCP	35% DCP
Corn	50.00	30.00	25.00	20.00	15.00	30.00	25.00	20.00	15.00
Meat meal, 60%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Soybean meal, 44%	15.36	19.00	19.82	20.71	21.36	19.00	19.82	20.71	21.29
Full fat soybean meal	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
Rice bran	10.46	4.20	2.76	1.25	0.00	4.12	2.69	1.17	0.00
Rice bran oil	1.90	4.39	5.00	5.61	6.20	4.42	5.02	5.64	6.22
Cassava pulp	0.00	20.00	25.00	30.00	35.00	20.00	25.00	30.00	35.00
Salt	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
DL-methionine	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25	0.22	0.23	0.24	0.25
Calcium carbonate	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20
P21	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Premix	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Roxazyme G2G®	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15
Calculated composition, %									
ME, kcal/kg	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850
Calcium	4.17	4.20	4.21	4.21	4.22	4.20	4.21	4.21	4.22
Available phosphorus	0.52	0.50	0.50	0.50	0.49	0.50	0.50	0.50	0.49
Lysine	0.86	0.92	0.93	0.95	0.96	0.92	0.93	0.95	0.95
Methionine	0.45	0.47	0.48	0.48	0.49	0.47	0.48	0.48	0.49
Methionine + Cystine	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Analyzed composition, %									
Dry matter	92.14	92.68	92.04	92.45	92.66	93.36	93.66	93.05	93.14
Crude protein	18.76	18.72	18.84	18.67	18.71	18.78	18.84	18.94	18.76
Fiber	3.62	6.41	7.26	7.71	8.60	6.27	7.13	7.57	8.50

[1] Premix (0.25%) = vitamin A, 11,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 11 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2 mg; vitamin B_2, 6 mg; vitamin B_6, 3 mg; vitamin B_{12}, 0.011 mg; pantothenic acid, 11 mg; niacin, 20 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.04 mg; Cu, 10 mg; Mn, 80 mg; Zn, 80 mg; Fe, 75 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.25 mg

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

จากการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ โดยนำมูลไปวัดค่าพลังงาน และทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังพบว่ามีค่าเท่ากับ 2,763 kcal/kg โดยพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงในไก่เนื้อมีค่าระหว่าง 2,363 – 2,484 TME kcal/kg (ยุวเรศ และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) ผลของการทดลองไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (ตารางที่ 4.1) พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 – 20% มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ เถ้า และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนไม่แตกต่างจากไก่ไข่ในกลุ่มควบคุม ($P<0.05$)

กากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นคือ 25% พบว่ามีค่าดังกล่าวลดลง ซึ่งการลดลงของการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ อาจเกิดจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง โดยอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% มีเยื่อใยในสูตรอาหารประมาณ 3.14, 4.54, 4.73, 5.24, 5.78 และ 6.31% ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 25% มีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมถึง 2.01 เท่า โดยทั่วไปปริมาณเยื่อใยในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยวนั้นไม่ควรเกิน 5% (Pond et al., 2005) อีกทั้งระดับเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้นทุก 1% จะลดประสิทธิภาพการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะประมาณ 3.5% (สาโรช, 2547) นอกจากนี้ Bowland (1972) ได้รายงานว่าการเลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่มีเยื่อใยเกิน 5% จะส่งผลให้การย่อยได้ของโภชนะลดลง ทั้งนี้เยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 13.1% และเยื่อใยที่ละลายน้ำประมาณ 7% (Djuma'ali et al., 2011) เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำดังกล่าวจะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหารจึงเกิดการพองตัวเหมือนฟองน้ำ ทำให้อาหารไม่มีความหนืด อาหารจึงเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ได้เร็วขึ้น ทำให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ จึงลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลง (อุทัย, 2529; Jimenez – Moreno et al., 2010) นอกจากนี้ปริมาณเยื่อใยที่สูงเกินไปอาจขัดขวางการย่อย การดูดซึมของโภชนะตัวอื่นด้วย (Rangilal et al., 1995)

ตารางที่ 4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Digestibility, %								
Dry matter	72.30[a]	71.08[a]	70.12[a]	69.99[a]	69.96[a]	65.33[b]	0.30	NS[3]
Organic matter	75.45[a]	74.53[a]	73.84[a]	74.37[a]	74.76[a]	69.86[b]	0.31	NS
Ash	51.02[a]	50.05[a]	49.95[a]	49.67[a]	47.59[ab]	44.24[b]	0.59	NS
Nitrogen Retention, %								
	64.71[a]	63.89[a]	62.25[a]	61.76[a]	61.65[a]	49.18[b]	0.41	NS

[a, b] Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย

4.2.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าผลผลิตไข่และปริมาณอาหารที่กินมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในทุกช่วงการทดลอง (0 – 4, 4 – 8, 8 – 12 และ 0 – 12 สัปดาห์) ยกเว้นในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ ที่ผลผลิตไข่เฉลี่ยในไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 – 10% (P<0.05) โดยมีแนวโน้มการให้ผลผลิตไข่ลดลงเป็นเส้นโค้งแบบ Cubic ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไก่ไข่ยังไม่สามารถปรับตัวกับอาหารที่มีความฟ่าม และเยื่อใยสูงได้ โดยในช่วง 1 – 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง ไก่ไข่ในกลุ่มดังกล่าวมีปริมาณการกินได้ที่ต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มอื่น ๆ ประมาณ 5 – 10% (ไม่ได้แสดงผล) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ได้รับโภชนะไม่เพียงพอ และอาจส่งผลให้อัตราการให้ผลผลิตไข่เฉลี่ยในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ มีค่าต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 – 10% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ สอดคล้องกับการทดลองของสุเมธ และคณะ (2552) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 15% (เป็นระดับที่สูงสุดในการทดลองนี้) ไม่ส่งผลกระทบต่อ

การกินอาหารของไก่ไข่เช่นเดียวกัน จากกการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ไข่ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้กากมันสำปะหลังจะเป็นวัตถุดิบที่มีความฟ่ามสูง เบา และเป็นฝุ่น แต่การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่จนถึงระดับ 25% ยังไม่มีผลกระทบต่อการกินอาหารของไก่ไข่

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้อาหารตลอดการทดลอง พบว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่มีค่าต่ำกว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 5 และ 10% ซึ่งประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ลดลงในไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 25% ให้ผลสอดคล้องกับการย่อยได้ของโภชนะ น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง และมวลไข่ที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกากมันปะหลังมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบที่สูง นอกจากน้ำย่อยในร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้แล้ว เยื่อใยยังมีผลในการขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารเพื่อย่อยโภชนะตัวอื่นด้วย ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง

นอกจากนี้การให้ผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่ ยังมีความเกี่ยวข้องกับการกินได้ของพลังงานและโปรตีนในอาหาร ในสูตรอาหารทดลองครั้งนี้มีการปรับพลังงาน โปรตีน รวมถึงกรดอะมิโน เช่น เมทไทโอนีน ไลซีน อาร์จินีน และทรีโอนีน ให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ (0.39, 0.74, 0.93 และ 0.51% ตามลำดับ) (NRC, 1994) และอาหารแต่ละสูตรได้มีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสังเคราะห์ แต่ในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 25% มีปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนเพียง 0.47% เท่านั้น ทั้งนี้น้ำหนักไข่ มวลไข่ และน้ำหนักตัวของไก่ไข่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน กรดอะมิโน และกรดไขมันลิโนเลอิค (linoleic acid) ดังรายงานของ Faria et al. (2002) กล่าวว่า การเพิ่มระดับทรีโอนีนจาก 0.35% เป็น 0.58% ส่งผลให้น้ำหนักไข่และมวลไข่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เมื่อปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองต่ำกว่าในกลุ่มควบคุม นอกจากนี้สัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid: EAA) ต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น (non – essential amino acid: NEAA) ในสูตรอาหารควรมีความสมดุลกัน (Leeson and Summers, 1997) โดย Bedford and Summers (1985) กล่าวว่าอัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น (EAA : NEAA) ในอาหารควรอยู่ที่ประมาณ 55 : 45 หรือ 1.2 : 1 แต่การใช้กากมันสำปะหลัง พบว่ามีผลทำให้สัดส่วนของกรดอะมิโนไม่จำเป็นสูงกว่ากรดอะมิโนจำเป็น ดังนั้นเมื่อใช้กากมันสำปะหลังสูงถึง 25% อาจส่งผลให้กรดอะมิโนบางตัวเกิน และกรดอะมิโนบางตัวไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งกรดอะมิโนในสูตรอาหารจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน และอาจมีความสัมพันธ์กับโภชนะตัวอื่น ๆ ด้วย (Leeson and Summers, 1997) ดังนั้นจึงอาจส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่และมวลไข่ได้

ตารางที่ 4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Egg production, %								
week 0 – 4	97.17^{ab}	98.21^{a}	97.47^{ab}	96.28^{abc}	96.06^{bc}	95.39^{c}	0.25	C[4]=0.039
week 4 – 8	97.69	97.77	97.55	97.61	97.62	97.62	0.23	NS[3]
week 8 – 12	96.57	97.99	95.89	96.13	96.28	95.23	0.34	NS
week 0 – 12	97.15	97.99	96.97	96.68	96.65	95.98	0.23	NS
Egg weight, g/egg								
week 0 – 4	63.08	63.79	63.59	63.78	62.17	62.37	0.22	NS
week 4 – 8	65.13^{a}	65.99^{a}	65.59^{a}	64.26^{a}	64.53^{a}	61.64^{b}	0.31	NS
week 8 – 12	62.92	63.65	64.24	64.38	63.77	61.78	0.33	NS
week 0 – 12	63.71^{a}	64.48^{a}	64.47^{a}	64.14^{a}	63.49^{a}	61.93^{b}	0.17	NS
Feed intake, g/hen/day								
week 0 – 4	111	113	115	114	114	114	0.51	NS
week 4 – 8	116	116	117	119	117	117	0.48	NS
week 8 – 12	117	118	115	116	115	113	0.63	NS
week 0 – 12	116	115	114	115	115	116	0.42	NS
Feed conversion ratio, g feed/g egg weight								
week 0 – 4	2.37^{ab}	2.34^{b}	2.38^{ab}	2.42^{ab}	2.46^{ab}	2.47^{a}	0.02	Q[5]=0.013
week 4 – 8	2.39	2.36	2.37	2.42	2.42	2.42	0.01	NS
week 8 – 12	2.39	2.32	2.35	2.37	2.39	2.41	0.01	NS
week 0 – 12	2.39^{ab}	2.34^{b}	2.36^{b}	2.41^{ab}	2.42^{ab}	2.44^{a}	0.05	C=0.004
Egg mass, g								
week 0 – 4	54.90	55.47	55.42	55.60	53.87	54.31	0.20	NS
week 4 – 8	56.75^{a}	57.70^{a}	57.28^{a}	56.15^{a}	56.18^{a}	53.86^{b}	0.29	NS
week 8 – 12	54.75	55.23	56.03	55.99	55.38	53.71	0.33	NS
week 0 – 12	55.47^{a}	56.14^{a}	56.24^{a}	55.92^{a}	55.14^{ab}	53.96^{b}	0.18	NS

$^{a-c}$ Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant; [4] C = Cubic; [5] Q = Quadratic

4.2.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จากการทดลอง พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% มีค่าความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ ความสูงไข่ขาว และค่าคุณภาพไข่ขาว (Haugh unit) ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกช่วงการทดลอง ส่วนไข่แดงในกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง 25% มีน้ำหนักเฉลี่ยในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีผลในทิศทางเดียวกับน้ำหนักไข่ แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักไข่ทั้งฟองที่ลดลงนั้นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักไข่แดง (North and Bell, 1990)

จากการวิเคราะห์สีของไข่แดงโดยเทียบกับพัดสีโรช พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกช่วงการทดลองมีคะแนนสีไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.3) สอดคล้องกับการทดลองของ วิรชัย และคณะ (2536) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่พันธุ์อิซ่า บราวน์ มีสีของไข่แดงลดลงตามระดับการใช้ในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น อีกทั้ง สุเมธ และคณะ (2552) ได้รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ตั้งแต่ 0 – 15% มีผลทำให้คะแนนสีไข่แดงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมสารสีในไข่แดงนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร โดยสัตว์ปีกไม่มีความสามารถในการสังเคราะห์สารแซนโทฟิลล์ขึ้นได้เอง ดังนั้นกลไกในการเกิดสีในไข่แดงจึงเกิดจากการสะสมสารออกซีแคโรทีนอยด์ หรือสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร (Fox and Vevers, 1960) ด้วยเหตุนี้อาหารในกลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานหลัก จึงมีระดับสีไข่แดงสูงกว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกกลุ่มการทดลอง เนื่องจากข้าวโพดเป็นแหล่งของสารสีที่ดี แต่กากมันสำปะหลังไม่มีสารสี ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการปรับระดับของสารแซนโทฟิลล์ในอาหารให้เท่ากัน ดังนั้นเมื่อมีการใช้กากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารและมีการใช้ข้าวโพดลดลง จึงเป็นสาเหตุให้มีระดับสีไข่แดงลดลง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ ควรพิจารณาการเพิ่มสารสีในสูตรอาหาร เนื่องจากสีของไข่แดงมีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค โดยควรพิจารณาเสริมสารสี (carotenoid และ xanthophyll) ที่ระดับ 50 – 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (สาโรช, 2547) หรือการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบแหล่งของสารเพิ่มสีจากธรรมชาติ เช่น ดอกดาวเรือง ใบกระถิน ใบมันสำปะหลัง และแกลบกุ้ง เป็นต้น จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ (นิลุบล, 2543)

ตารางที่ 4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Shell weight, g								
week 0 – 4	8.18	8.32	8.17	8.18	8.30	8.06	0.07	NS
week 4 – 8	8.39	8.29	8.31	8.11	8.35	7.78	0.06	NS
week 8 – 12	8.37	8.42	8.21	8.39	8.39	8.08	0.06	NS
week 0 – 12	8.31	8.35	8.23	8.23	8.35	7.97	0.04	NS
Shell thickness, mm								
week 0 – 4	0.36	0.34	0.34	0.34	0.35	0.38	0.04	NS[3]
week 4 – 8	0.39	0.38	0.37	0.39	0.38	0.38	0.03	NS
week 8 – 12	0.37	0.39	0.38	0.37	0.38	0.38	0.04	NS
week 0 – 12	0.37	0.37	0.36	0.36	0.37	0.38	0.02	NS
Albumin height, mm								
week 0 – 4	8.49	8.15	8.10	8.16	8.12	8.10	0.07	NS
week 4 – 8	7.27	7.28	7.51	7.29	7.05	7.69	0.06	NS
week 8 – 12	7.54	7.78	7.42	7.05	7.62	7.24	0.09	NS
week 0 – 12	7.77	7.74	7.68	7.50	7.60	7.68	0.05	NS
Yolk weight, g								
week 0 – 4	16.36	16.37	16.95	16.47	16.09	16.02	0.11	NS
week 4 – 8	17.49^{a}	17.47^{a}	17.51^{a}	17.37^{a}	17.33^{a}	16.23^{b}	0.12	NS
week 8 – 12	16.82	17.32	16.88	17.88	16.94	15.88	0.22	NS
week 0 – 12	16.89^{a}	17.05^{a}	17.11 ^{a}	17.24^{a}	16.79^{ab}	16.04^{b}	0.10	NS
Yolk color, score[4]								
week 0 – 4	6.23^{a}	5.8^{b}	5.63^{b}	5.31^{b}	4.31^{c}	3.56^{d}	0.08	NS[3]
week 4 – 8	5.38^{a}	5.00^{ab}	4.50^{bc}	4.25^{c}	3.50^{d}	3.31^{d}	0.07	NS
week 8 – 12	5.35^{a}	4.44^{b}	4.38^{b}	4.13^{b}	3.75^{b}	2.56^{c}	0.11	NS
week 0 – 12	5.78^{a}	5.33^{b}	5.00^{bc}	4.77^{c}	3.83^{d}	3.42^{e}	0.06	NS

ตารางที่ 4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ (ต่อ)

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Haugh unit, %								
week 0 – 4	90.00	88.50	89.50	89.50	88.00	88.00	0.32	NS
week 4 – 8	87.00	85.50	85.50	85.50	84.50	86.00	0.85	NS
week 8 – 12	82.50	83.00	83.00	79.50	82.50	83.00	1.23	NS
week 0 – 12	86.50	85.67	86.00	84.83	85.00	85.67	0.82	NS

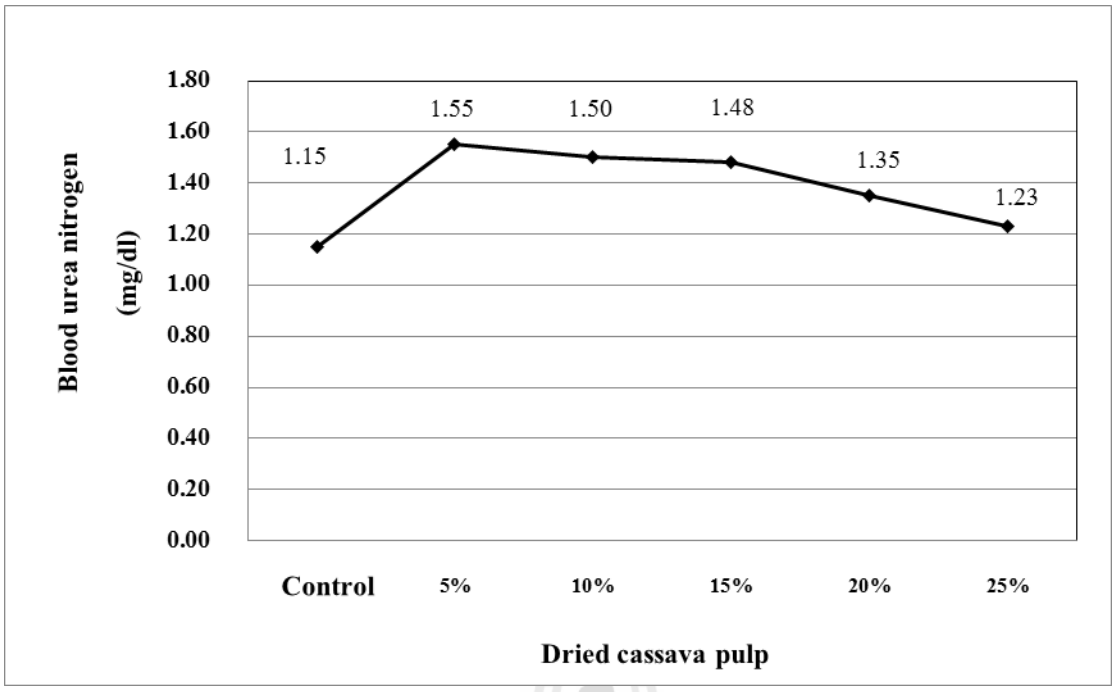
[a – e] Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant; [4] Compared with Roche color fan

4.2.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ต่อปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด

การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง (ภาพที่ 4.1) ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารว่าตรงตามความต้องการของสัตว์มากน้อยเพียงใด ดังนั้นหากในอาหารมีปริมาณกรดอะมิโนหรือปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สมดุล ร่างกายจะขับออกในรูปของกรดยูริคส่งผลให้ปริมาณกรดยูริคในเลือดเพิ่มขึ้น (Kumta and Harper, 1961; Ranjihan, 1980)

โดยปกติร่างกายของสัตว์ปีกและสัตว์เลี้อยคลาน จะมีกระบวนการกำจัดไนโตรเจนส่วนเกินออกมาในรูปของกรดยูริค เนื่องจากกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่ต้องการนั้น จะถูกกำจัดกลุ่มอะมิโนออกโดยอาศัยปฏิกิริยาดีอะมิเนชั่น (deamination) และปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา จากนั้นแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับและส่งต่อมายังกระแสเลือดเพื่อขับออกนอกร่างกาย สำหรับในร่างกายของสัตว์ปีกและสัตว์เลี้อยคลาน ต้องทำการเปลี่ยนยูเรียให้อยู่ในรูปของกรดยูริคก่อนการกำจัดออกนอกร่างกายเพื่อลดความเป็นพิษต่อร่างกาย โดยปกติสัตว์ปีกมีค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือดอยู่ระหว่าง 2 ถึง 15 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าชีวเคมีในเลือดของสัตว์นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ เพศ อายุ และชนิดของอาหารที่ได้รับ (Coles, 2007) จากการทดลองนี้ ไก่ไข่ทดลองทุกกลุ่มมีปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่จนถึงระดับ 25% ยังไม่มีผลกระทบต่อความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสูตรอาหารทดลองได้มีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราห์ไลซีนและเมทไธโอนีนด้วย



ภาพที่ 4.1 ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% ในอาหาร

4.2.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดง

ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ไข่ ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 93.00, 66.00, 62.50, 82.25, 90.25 และ 61.50 mg% ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกระดับมีปริมาณคอเลสเตอรอลไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ไข่มีค่าผันแปรระหว่าง 52 ถึง 270 mg% (Wegner et al., 1978) ทั้งนี้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดขึ้นอยู่กับพันธุกรรม อาหาร และการได้รับยาต่าง ๆ (Hargis, 1998) จากการทดลองนี้คาดหวังว่าเยื่อใยในกากมันสำปะหลังอาจมีบทบาทในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ ซึ่งเยื่อใยในอาหารทดลองแต่ละสูตรมีปริมาณสูงขึ้นตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น โดยอาหารที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% มีเยื่อใยในสูตรอาหารประมาณ 3.14, 4.54, 4.73, 5.24, 5.78 และ 6.31% ตามลำดับ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ปริมาณ

คอเลสเตอรอลในเลือดให้ผลสอดคล้องกับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงที่ไม่แตกต่างกันในช่วงสุดท้ายของการทดลองเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.4)

สำหรับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 151.14, 144.31, 138.87, 134.02, 128.29 และ 126.25 มิลลิกรัมต่อฟอง ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 20 และ 25% มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 140.94, 131.06, 128.33, 126.30, 123.39 และ 123.33 มิลลิกรัมต่อฟอง โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 – 25% มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในช่วง 8 – 12 สัปดาห์ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) ซึ่งกากมันสำปะหลังสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลของไข่แดงในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ และ 4 – 8 สัปดาห์ของการทดลองลงได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Khempaka et al. (2009) ที่รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 – 16% มีผลลดไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อ Lirette et al. (1993) ทดลองใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น ข้าวโอ๊ต 30% และเปลือกเมล็ดฝ้าย 3% ในอาหารไก่ไข่ที่อายุ 19 – 25 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ 25 และ 15% และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ได้ 6.7 และ 6.0% ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น หญ้าอัลฟัลฟา รำผสม และกากข้าวโอ๊ตในอาหารของไก่ไข่ พบว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ 57, 32 และ 24% และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ได้ 2.8, 9.4 และ 6.5% ตามลำดับ (McNaughton, 1978)

กลไกการทำงานของเยื่อใยในการลดคอเลสเตอรอลยังไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัด ทั้งนี้คาดว่าเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ อาจช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอในลำไส้เล็ก ทำให้สารตั้งต้นในการผลิตคอเลสเตอรอลลดลง อีกทั้งขัดขวางการดูดกลับของน้ำดี ทำให้น้ำดีซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบอยู่ถูกขับถ่ายออกพร้อมกับใยอาหาร ดังนั้นร่างกายจึงต้องใช้คอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นเพื่อสังเคราะห์น้ำดีขึ้นมาใหม่เสมอ จึงส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง (Weiss and Scott, 1978; Eastwood and Boyd, 1967) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านพันธุกรรม สรีระ และชีวเคมีของร่างกาย เช่น การสังเคราะห์ การขนส่ง ความสามารถในการดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งไก่ไข่จะตอบสนองต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาใหม่วันละ 300 มิลลิกรัม ที่บริเวณตับและรังไข่ (Liu et al., 2010; Valenzuela et al., 2003; Kim et al., 2004)

ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงในช่วง 0 – 4 และ 4 – 8 สัปดาห์ แต่ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงในช่วงสุดท้ายของการทดลอง (ไก่ไข่อายุ 38 – 41 สัปดาห์) ทั้งนี้เนื่องจากคอเลสเตอรอลเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการพัฒนาของตัวอ่อน และเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างฮอร์โมนสเตียรอยด์ (steroid hormone) ได้แก่ ฮอร์โมนเพศ ฮอร์โมนในกลุ่มแอลโดสเตอโรน (aldosterone)

ฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocor ticoids) เป็นต้น โดยฮอร์โมนในกลุ่มสเตียรอยด์นั้นมีบทบาทสำคัญต่อการให้ผลผลิตไข่ คือ ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการตกไข่และการสร้างไข่ขาว และฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อการสร้างโปรตีนในไข่แดง ควบคุมการเคลื่อนย้ายไข่ไปในท่อนำไข่ การวางไข่ รวมทั้งการสร้างเปลือกไข่ หากในไข่แดงไม่มีคอเลสเตอรอลอยู่ อาจทำให้ตัวอ่อนไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นการลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นจะสามารถทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากถูกจำกัดโดยการควบคุมของสรีระวิทยาที่พยายามจะรักษาสภาพการให้ผลผลิตไข่และการพัฒนาของตัวอ่อนที่ดีไว้ (ยุวเรศ, 2538) ดังนั้นร่างกายจึงมีกลไกที่จะรักษาสภาพการให้ผลผลิตและการพัฒนาของตัวอ่อนที่ดีไว้ ส่งผลให้ในช่วงสุดท้ายของการทดลองนั้นไม่สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้

ตารางที่ 4.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและไข่แดง

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Total blood cholesterol, mg%								
week 0 – 12	93.00	66.00	62.50	82.25	90.25	61.50	14.39	NS[3]
Egg yolk cholesterol, mg/ whole egg								
week 0 – 4	151.14^{a}	144.31^{ab}	138.87 ^{abc}	134.02^{abc}	128.29^{bc}	126.25^{c}	2.05	NS
week 4 – 8	140.94^{a}	131.06^{ab}	128.33^{b}	126.30^{b}	123.39^{b}	123.23^{b}	14.62	NS
week 8 – 12	146.40	139.88	140.66	139.31	136.48	137.47	1.13	NS

$^{a-c}$ Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.2.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล

การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% (ตารางที่ 4.5) พบว่ากากมันสำปะหลังไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ชนิด *E. coli* (P>0.05) ในขณะที่การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25 และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* (P<0.05) ได้ตามลำดับ สำหรับการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูลไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ได้ ทั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับ สุวรรณา (2548) ที่พบว่ามันสำปะหลังสามารถเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* ได้มากกว่าไก่เนื้อที่ได้รับข้าวโพด (P<0.05) ซึ่งจากการรวบรวมเอกสารพบว่า เยื่อใยชนิดละลายน้ำประเภทเบต้ากลูแคน และเพกตินจากข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ต มีบทบาทในการเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ในระบบทางเดินอาหารของสุกรและสัตว์ปีกได้ (O' Connella et al., 2005) และยังมีบทบาทในการส่งเสริมการสร้างภูมิคุ้มกันของสัตว์ (An et al., 2008) นอกจากนี้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีส่วนของ NSP ที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนประกอบจะเพิ่มการหมักย่อยและเพิ่มความหนืดในลำไส้เล็กของไก่เนื้อ (Branton et al., 1997) กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงโดยมีสัดส่วนของเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำอยู่ที่ประมาณ 13.1% และมีเยื่อใยประเภทละลายน้ำชนิดเพคตินอยู่ที่ประมาณ 7% (Djuma'ali et al., 2011) โดยเยื่อใยประเภทที่ละลายน้ำได้นั้นจะมีลักษณะเหนียว สามารถกระจายตัว อุ้มน้ำได้ดี และจะมีการพองตัวเมื่ออยู่ในทางเดินอาหาร (Sarikhan et al., 2009) เมื่อเยื่อใยดังกล่าวผ่านไปยังลำไส้ใหญ่จะเกิดการหมักย่อยได้มากกว่าเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (Wu et al., 2003) และอาจมีผลเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมได้

ตารางที่ 4.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Microbial population, log CFU/g								
E. coli	3.92	3.55	3.76	4.62	5.15	4.37	0.33	NS[3]
Lactobacillus spp.	7.69[b]	7.75[ab]	7.83[ab]	7.71[ab]	8.11[a]	8.12[a]	0.05	NS
Bifidobacterium spp.	7.34[b]	7.74[ab]	7.71[ab]	7.72[ab]	7.83[ab]	7.86[a]	0.06	NS
Ammonia production								
Digesta, g/100 g	0.13	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.04	NS
Excreta, g/100 g of DM	5.12	4.87	4.71	4.82	4.32	4.61	0.07	NS

[a – b] Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

จากการศึกษาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม ของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยพบว่ากากมันสำปะหลังไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตกรดบิวไทริก (P>0.05) ในขณะที่ไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณของกรดโพรพิโอนิก และกรดอะซิติกได้ (P<0.05) ตามลำดับ

ชนิดและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอาหาร โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยได้สามารถบ่งบอกถึงกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ (Bergmam, 1990) ในสัตว์ที่กินอาหารที่มีเยื่อใยสูง จะมีปริมาณของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกสูงกว่าสัตว์ที่กินอาหารจำพวกแป้งเป็นส่วนใหญ่ (Herd, 1997) การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณของกรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ได้ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของกรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของประชากรจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* (ตารางที่ 4.5) โดยจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวจะมีการผลิตกรดไขมัน เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวไทริก รวมทั้งกรดแลคติก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ที่พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากร

จุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ได้ จึงส่งผลการผลิตกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมเพิ่มขึ้น

เยื่อใยในกากมันสำปะหลังนอกจากสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้แล้ว ยังมีบทบาทในการผลิตกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งกรดไขมันระเหยได้ที่เพิ่มขึ้นนั้นมีบทบาทสำคัญต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก เช่น *Clostidium spp. Salmonella spp.* และ *E. coli* (Fernandez – Rubio et al., 2009) แต่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus spp.* (Jozefiak et al., 2004; Dunkley et al., 2009) นอกจากนี้กรดไขมันระเหยได้ยังลด pH ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมไม่ให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคด้วย

การเพิ่มปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ในสำไส้ส่วนท้ายนั้น ยังมีบทบาทสำคัญทำให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมแทบอลิซึมของกลูโคสและไขมัน ทำให้น้ำตาลและไขมันในเลือดต่ำ (Roberfroid, 1993) ดังรายงานของ Remesy et al. (1995) กล่าวว่าเมื่อเกิดการหมักย่อยเยื่อใยที่ละลายน้ำโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้าย กรดไขมันสายสั้นที่ได้จะถูกดูดซึมเกือบทั้งหมดในหลอดเลือดดำโดยเกิดกระบวนการเผาผลาญที่ตับ นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่ากรดโพรพิโอนิกสามารถลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้ (Demigne et al., 1995; Stark and Madar, 1993; Wolever et al., 1995) ดังรายงานของ Levrat et al. (1994) พบว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูง ๆ เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ มีการผลิตกรดโพรพิโอนิกในปริมาณที่สูง โดยกรดโพรพิโอนิกจะเหนี่ยวนำเอนไซม์ HMG – CoA reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ ให้มีการทำงานลดลง ส่งผลให้คอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง ในการทดลองครั้งนี้ พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตกรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติกได้ ซึ่งอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในไข่แดง

ตารางที่ 4.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (μmol/g)

	Dried cassava pulp (%)							
	Control	5	10	15	20	25	SEM[1]	Trend[2]
Acetic acid	16.84^{bc}	15.66^{c}	16.37^{bc}	18.65^{abc}	20.49^{ab}	21.14^{a}	0.57	NS[3]
Propionic acid	2.11^{ab}	2.02^{ab}	2.03^{ab}	1.98^{b}	2.12^{a}	2.14^{a}	0.01	NS
Butyric acid	5.53	5.77	5.77	5.92	5.67	5.49	0.12	NS

$^{a-c}$ Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.2.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับ (5 – 25%) ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่ากลุ่มควบคุม เป็นผลมาจากค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองในกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้ในระหว่างทำการทดลองกากมันสำปะหลัง และข้าวโพด มีราคา 4.50 และ 13.00 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟอง จะลดลงเมื่อข้าวโพดและกากมันสำปะหลังมีส่วนต่างราคาเป็น 5 บาทต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนต่ำและพลังงานปานกลาง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ต้องมีการปรับระดับโภชนะต่าง ๆ ในสูตรอาหารเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ โดยจำเป็นต้องมีการเพิ่มระดับไขมันและกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากแหล่งไขมันและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพงกว่าข้าวโพดมาก ด้วยเหตุนี้ควรพิจารณาถึงภาวะราคาของน้ำมันรำและกากถั่วเหลืองด้วย อีกทั้งการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นในสูตรอาหาร ควรเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ เช่น เมทไธโอนีนและไลซีน นอกจากนี้ควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่หลากหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโน และควรพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนทรีโอนีนสูง ๆ ทดแทน เช่น เปลือกกุ้ง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น เพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโนให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่

ตารางที่ 4.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

	Dried cassava pulp (%)					
	Control	5	10	15	20	25
จำนวนไก่เข้าการทดลอง, %	48	48	48	48	48	48
อัตราการเลี้ยงรอด, %	97.92	100	97.92	100	100	97.92
จำนวนไข่ตลอดการทดลอง, ฟอง	3,910	3,951	3,896	3,898	3,897	3,863
ราคาอาหาร, บาท/กิโลกรัม	14.14	14.18	13.97	13.76	13.55	13.31
ต้นทุนค่าตลอดการทดลอง, บาท	6,918	6,830	6,754	6,677	6,601	6,510
กำไรสุทธิเบื้องต้น, บาท	2,465	2,651	2,595	2,677	2,751	2,760
ต้นทุนอาหาร/ไข่ 1 ฟอง, บาท	1.77	1.73	1.73	1.71	1.69	1.68
กำไรสุทธิเบื้องต้น/ไข่ 1 ฟอง, บาท	0.63	0.67	0.67	0.69	0.70	0.71

4.3. การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

4.3.1 ผลของการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae*

การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้ดีขึ้นได้ โดยองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีน 1.98% เยื่อใย 13.59% และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 2,763 kcal/kg เมื่อนำกากมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* พบว่า องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนรวม โปรตีนแท้ เยื่อใย และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 13.25%, 12.37%, 10.66% และ 2,228 kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น 11.27% เมื่อเปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติ จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน พบว่ากากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น เช่น ไลซีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน ฟินิลแอลานีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ฮิสทิดีน วาลีน และกรดกลูตามิก) แต่ปริมาณของเมทไธโอนีน ทั้งในกากมันสำปะหลังปกติ และกากมันสำปะหลังหมักยังมีปริมาณที่น้อยมากดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของข้าวโพด กากมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังหมัก พบว่ากากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีนสูงสุด อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังหมักยังมีกรดอะมิโนบางตัวที่ต่ำกว่าข้าวโพด เช่น อาร์จินีน ซิสทีน และเมทไธโอนีน เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางโภชนะต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่ากากมันสำปะหลังหมักมีคุณค่าทางโภชนะในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้

กากมันสำปะหลังหมักมีคุณค่าทางโภชนะที่ดีขึ้นเนื่องจากเชื้อรา *A. oryzae* สามารถหลั่งเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น แอลฟาอะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรติเอส และเซลลูเลส (Francis et al., 2002; Chutmanop et al., 2008; Begum et al., 2009; Zambare, 2010) เพื่อย่อยสลายโครงสร้างของกากมันสำปะหลังในระหว่างการหมัก ซึ่งเชื้อรา *A. oryzae* จะใช้แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตหรือส่วนของเยื่อใยที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการสร้างพลังงานให้กับเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น เมื่อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนเพิ่มจำนวนจึงส่งผลให้กากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย และมีปริมาณเยื่อใยลดลงประมาณ 2.93% โดย Oboh et al. (2002) รายงานว่าการหลั่งเอนไซม์ของเชื้อรา *A. oryzae* เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสในกากมันสำปะหลังดีกว่าเชื้อ *S. cerevisiae* และ *C. utilis* จึงช่วยลดปริมาณเยื่อใยได้ดีกว่า

ผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังปกติที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก (ฤทัยรัตน์, 2553; อนันตภัทร และ วิชัย, 2546; Oboh, 2006; Oboh and Elusiyan 2007; Boonnop et al., 2009; Ezekiel et al., 2010) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนที่เปลี่ยนแปลงไป

นั้นอาจไม่ใช่โปรตีนแท้ทั้งหมด เพราะในกระบวนการหมักมีการใช้ยูเรียเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับเชื้อรา *A. oryzae* ซึ่งยูเรียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถึง 46% เมื่อคิดเป็นโปรตีนจะได้เท่ากับ 287.5% ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนแท้ในกากมันสำปะหลังหมักด้วย โดยทำการวิเคราะห์จากแอมโมเนียคัลไนโตรเจน (ammoniacal nitrogen) เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณโปรตีนแท้ ซึ่งได้ค่าโปรตีนแท้เท่ากับ 12.37% จากปริมาณโปรตีนรวม 13.25% และส่วนที่เหลืออีก 0.88% อาจเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) ดังนั้นข้อแนะนำก่อนการนำกากมันสำปะหลังหมักไปใช้ควรทำการตรวจวัดปริมาณโปรตีนแท้ด้วย เนื่องจากสามารถใช้เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณโปรตีนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง

นอกจากนี้ข้อควรระวังในการใช้กากมันสำปะหลังหมักคือควรตรวจสอบปริมาณยูเรียตกค้างก่อน ยูเรียไม่ควรนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากเมื่อยูเรียถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ โดยข้อแนะนำสำหรับปริมาณยูเรียที่มีในอาหารสัตว์ปีกไม่ควรเกิน 0.5% หรือ 0.3 กรัมต่อน้ำหนักของสัตว์ 1 กิโลกรัม ศรีสุดา และคณะ (2554) รายงานว่าอาหารที่เสริมเมลามีน และยูเรียฟอมาดีไฮด์ในระดับที่มากกว่า 0.75% จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของไก่ไข่ ทั้งนี้ผลการทดลองในการหมักกากมันสำปะหลังพบว่ามีปริมาณ NPN เหลืออยู่ซึ่งอาจเป็นยูเรีย โดยมีค่าประมาณ 0.14% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำกากมันสำปะหลังหมักมาใช้ประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 16, 24 และ 32% พบว่าจะมีปริมาณยูเรียในอาหารเท่ากับ 0.02, 0.03 และ 0.04% ตามลำดับ ซึ่งอาหารแต่ละสูตรนั้นมีปริมาณยูเรียน้อยมาก และอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์

การหมักกากมันสำปะหลังยังสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ จาก 3.26 เหลือ 1.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม องค์การอาหารและเกษตร และองค์การอนามัยโลกแนะนำว่า ไม่ควรมีปริมาณไซยาไนด์เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหารสัตว์ โดยไซยาไนด์เป็นสารพิษที่มีการย่อยสลายตัวได้ง่าย เช่น การตากแดด การได้รับความร้อน หรือแม้แต่การหมักก็ช่วยย่อยสลายไซยาไนด์ได้ ซึ่งการลดลงของไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังหมักบางส่วนเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักหรือการย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น (Oboh, 2006; Oboh and Elusiyan, 2007; Boonnop et al., 2009; Adamafio et al., 2010) จึงทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลง อีกทั้งก่อนกระบวนการหมักมีการนึ่งกากมันสำปะหลังด้วยความร้อนซึ่งช่วยให้ไซยาไนด์ย่อยสลายลงได้ เมื่อปริมาณไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารลดลงจะส่งผลดีแก่สัตว์ เพราะว่าถ้าสัตว์ได้รับสารพิษในปริมาณมากไซยาไนด์ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะไปรบกวนกระบวนการขนส่งอิเลคตรอน (electron transport system) สัตว์จึงไม่สามารถสร้าง ATP (adenosine triphosphate) ได้ ทำให้เซลล์ขาดพลังงาน และตายลงในที่สุด (สกล, 2547)

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางโภชนะของข้าวโพด กากมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังหมัก

Component	Corn[1]	Cassava pulp	Fermented cassava pulp
Dry matter, %	89.00	93.22	95.00
Crude protein, %	7.00	1.98	13.25
True protein, %	-	0.98	12.37
Crude fiber, %	2.20	13.59	10.66
Ash, %	1.20	2.83	1.59
TME, kcal/kg	3,350	2,763	2,228
Cyanide, mg/kg	-	3.26	1.00
Amino acid, mg/100 g			
Alanine	30.00	24.91	84.32
Arginine	28.00	<5.00	<5.00
Aspartic acid	4.00	15.76	56.86
Cystine	12.00	<5.00	<5.00
Glutamic acid	450.00	98.09	234.31
Glycine	33.00	42.48	81.83
Histidine	17.00	58.99	178.53
Isoleucine	21.00	84.61	178.77
Leucine	77.00	106.32	227.56
Lysine	17.00	226.22	501.28
Methionine	13.00	<5.00	<5.00
Phenylalanine	58.00	118.19	239.60
Proline	7.00	25.40	53.39
Serine	37.00	<5.00	32.28
Threonine	20.00	<5.00	30.50
Tryptophan	4.00	6.76	19.54
Tyrosine	30.00	71.12	134.96
Valine	22.00	87.11	150.30

[1] NRC (1994)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.2 ผลการของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

จากผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารไก่ไข่ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารได้ถึงระดับ 32% โดยไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.9) เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักมีคุณค่าทางโภชนะที่ดีขึ้น คือมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีเยื่อใยลดลง โดยกากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในอาหารไก่ไข่ได้มากกว่ากากมันสำปะหลังปกติ เนื่องจากแป้งในกากมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อนสัตว์สามารถย่อยได้เร็ว อีกทั้งในกระบวนการหมักยังมีการนึ่งกากมันสำปะหลังเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ (นันทกร และคณะ, 2543) ความร้อนจากการนึ่งจะช่วยให้แป้งในกากมันสำปะหลังสุก สัตว์จึงสามารถใช้ประโยชน์จากแป้งของกากมันสำปะหลังได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ระหว่างการหมัก เชื้อรา *A. oryzae* ยังสามารถผลิตเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายแป้ง และเยื่อใยในกากมันสำปะหลังซึ่งจะทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดสั้นลง ดังนั้นแป้งที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังหมักจึงเป็นแป้งที่สุก และมีโมเลกุลสั้นจึงทำให้กากมันสำปะหลังหมักสามารถย่อยได้ดีกว่ากากสำปะหลังมันปกติ โดยฤทัยรัตน์ (2553) รายงานว่ากากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้มากกว่ากากมันปกติ (16% vs. 8%) โดยไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วิรชัย และคณะ (2536) ที่รายงานว่ากากมันสำปะหลังหมักจากการผลิตแอลกอฮอล์สามารถใช้ได้ถึงระดับ 30% ในสูตรอาหารไก่ไข่ เนื่องจากในกากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนสูง (12.59%) สามารถใช้ทดแทนโปรตีนในข้าวโพดได้

อย่างไรก็ตามผลการทดลองการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารที่ระดับสูงขึ้น คือ 40% พบว่ามีผลทำให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักยังมีปริมาณเยื่อใยที่สูง (10.66%) โดยการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 40% ส่งผลให้อาหารมีปริมาณเยื่อใยทั้งหมดเท่ากับ 6.24% ซึ่งเยื่อใยอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบทำให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง โดยรายละเอียดของเยื่อใยที่มีผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของโภชนะได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.1

ตารางที่ 4.9 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

		Fermented cassava pulp (%)						
	Control	8	16	24	32	40	SEM[1]	Trend[2]
Digestibility, %								
Dry matter	73.24[a]	70.95[a]	72.07[a]	71.11[a]	70.85[a]	61.03[b]	1.02	NS[3]
Organic matter	74.69[a]	72.93[ab]	72.31[ab]	73.53[ab]	70.68[b]	66.03[c]	1.00	NS
Ash	64.20[a]	63.22[a]	65.41[a]	60.93[a]	61.51[a]	53.27[b]	1.31	NS
Nitrogen retention, %								
	62.82[a]	61.32[a]	59.84[a]	59.27[a]	58.49[a]	46.25[b]	1.38	NS

[a – c] Means within a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.4 การทดลองที่ 4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย

4.4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตไข่ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0 – 24% ในสูตรอาหารไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตไข่ แต่เมื่อใช้ที่ระดับ 32% ส่งผลให้ผลผลิตไข่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P<0.05) โดยมีค่าลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของกากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (P<0.05) เช่นเดียวกับมวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่มีค่าลดลงแบบเส้นตรง (P<0.05) ส่วนน้ำหนักไข่ (กรัม/ฟอง) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

กากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 24% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ ในด้านปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ โดย วิรชัย และคณะ (2536) รายงานว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ได้ถึง 30% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และผลผลิตไข่ Chumpawadee et al. (2009) รายงานว่าการใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ แต่มันสำปะหลังหมักทำให้ผลผลิตไข่ลดลง น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Salami and Odusi (2003) รายงานว่าการใช้เปลือกมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% ไม่มีผลกระทบต่อ

อัตราการให้ไข่ แต่เมื่อใช้ในปริมาณที่มากขึ้น (30 – 40%) พบว่าอัตราการให้ไข่ลดลง เนื่องจากอาหารมีปริมาณเยื่อใยสูงจึงมีผลกระทบต่อการกินได้และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากผลการศึกษาพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่สูงขึ้นในสูตรอาหารมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลผลิตไข่ มวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่สูงขึ้น ($P<0.05$) โดยผลผลิตไข่ที่ลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักมีค่าต่ำกว่าไก่ไข่ที่ไม่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งอัตราการให้ไข่ของไก่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0 – 24% ในสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยผลผลิตไข่ตลอดช่วงการทดลองมีค่าระหว่าง 88 – 92% ในขณะที่การใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32% มีผลผลิตไข่ 83% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) จากการรวบรวมเอกสารพบว่าการใช้มันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่มีผลทำให้อัตราการให้ผลผลิตไข่ลดลง ($P<0.05$) แต่การใช้มันสำปะหลังในระดับที่เพิ่มขึ้นร่วมกับการเติมกรดอะมิโนที่จำเป็น พบว่าอัตราการให้ผลผลิตไข่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (Aina and Animo, 1997; Eruvbetine and Oguntona, 1997; Onifade et al., 1999) นอกจากนี้ สมเจตน์ (2530) รายงานว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในนกกระทาไข่ที่ใช้มันสำปะหลังหมักมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับข้าวโพด แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่ลดลงอาจเนื่องมาจากคุณภาพของโปรตีนในอาหาร นอกจากนี้ Kamran et al. (2008); Widyaratne and Drew (2011) รายงานว่าเมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลงด้วย ซึ่งเกิดจากระดับของกรดอะมิโนในอาหาร

การให้ผลผลิตไข่เกี่ยวข้องกับปริมาณการกินได้ของพลังงาน และโปรตีน โดยในการทดลอง ได้มีการปรับพลังงาน และโปรตีน รวมถึงกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมทไทโอนีน ไลซีน อาร์จินีน และทรีโอนีน ให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ (0.39, 0.74, 1.02 และ 0.51 กรัม ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามจากการคำนวณปริมาณไลซีนในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 16, 24 และ 32% พบว่ามีปริมาณไลซีนเท่ากับ 1.61, 1.98 และ 2.34% ตามลำดับ ซึ่งการใช้กากมันสำปะหลังหมักในระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณไลซีนในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณของอาร์จินีนในสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32% นั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ ดังนั้นการได้รับกรดอะมิโนที่ไม่สมดุลจึงมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตของไก่ไข่ได้ นอกจากนี้สัดส่วนระหว่างกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น (EAA : NEAA) ในสูตรอาหารต้องมีความสมดุลกัน (Bedford and Summers, 1985) แต่จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักทำให้สัดส่วนของกรดอะมิโนไม่จำเป็นสูงกว่ากรดอะมิโนจำเป็น ดังนั้นเมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักมากขึ้นในสูตรอาหารอาจทำให้มีกรดอะมิโนบางตัวที่เกินหรือไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ มวลไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของไก่ไข่ได้

ตารางที่ 4.10 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต มวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

		Fermented cassava pulp (%)				
	Control	16	24	32	SEM[1]	Trend[2]
Feed intake, g/h/d						
week 1 – 4	106.03	107.73	107.04	106.03	1.38	NS[3]
week 5 – 8	108.54	110.83	111.03	109.68	2.00	NS
week 1 – 8	107.29	109.28	109.04	107.96	1.38	NS
Feed conversion ratio, g feed/g egg weight						
week 1 – 4	1.80^{b}	1.93^{a}	1.94^{a}	1.96^{a}	0.03	L[4]=0.0025
week 5 – 8	1.91^{c}	2.00^{bc}	2.09^{ab}	2.19^{a}	0.05	L=0.0012
week 1 – 8	1.85^{c}	1.96^{b}	2.01^{ab}	2.07^{a}	0.03	L=0.0002
Egg production, %						
week 1 – 4	94.05^{a}	92.91^{a}	90.31^{ab}	86.81^{b}	1.53	L=0.0040
week 5 – 8	91.29^{a}	90.43^{a}	87.19^{a}	79.96^{b}	2.19	L=0.0025
week 1 – 8	92.67^{a}	91.67^{a}	88.75^{a}	83.38^{b}	1.32	L=0.0002
Egg weight, g/egg						
week 1 – 4	62.92	60.93	61.18	63.22	0.95	NS
week 5 – 8	62.78	60.36	61.09	63.17	0.93	NS
week 1 – 8	63.07	61.49	61.27	63.27	1.09	NS
Egg mass, g						
week 1 – 4	58.99	56.08	55.64	54.78	1.06	NS
week 5 – 8	58.46	56.30	54.81	53.42	0.85	NS
week 1 – 8	58.03^{a}	56.13^{ab}	54.62^{b}	54.37^{b}	0.66	L=0.0024
Protein efficiency ratio						
week 1 – 4	2.64^{a}	2.45^{b}	2.43^{b}	2.40^{b}	0.05	L=0.0040
week 5 – 8	2.50^{a}	2.32^{ab}	2.23^{b}	2.12^{b}	0.07	L=0.0016
week 1 – 8	2.57^{a}	2.39^{b}	2.33^{b}	2.26^{b}	0.05	L=0.0006

$^{a-c}$ Means within a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant; [4] Linear trend

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารต่อคุณภาพไข่ และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 16, 24 และ 32% ต่อคุณภาพไข่ และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง ความสูงไข่ขาว และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังหมัก มีผลทำให้สีไข่แดงลดลงแบบเส้นตรง ($P<0.05$) ตามระดับของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร นอกจากนี้คุณภาพไข่ขาว ซึ่งวัดโดยใช้ค่าฮอร์ยูนิต พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 24 และ 32% มีค่าฮอร์ยูนิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$)

การใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง และความสูงไข่ขาว โดยไก่ไข่มีการใช้โภชนะจากกากมันสำปะหลังในการสร้างองค์ประกอบของไข่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับข้าวโพด อาจเนื่องมาจากอาหารทุกสูตรในแต่ละกลุ่มการทดลองมีการปรับสมดุลของโภชนะให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และเพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ จึงส่งผลให้คุณภาพไข่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นสีไข่แดงที่มีค่าคะแนนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีสารสี โดยรายละเอียดและแนวทางแก้ไขได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.2.2

การใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงที่ใช้กากมันสำปะหลังหมักมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอยู่แล้ว ซึ่งโดยปกติไข่ไก่มีคอเลสเตอรอลประมาณ 200 –220 มิลลิกรัมต่อฟอง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ขึ้นอยู่กับการปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร หรือการนำคอเลสเตอรอลในร่างกายกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่ไก่ไข่จะตอบสนองต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาใหม่วันละ 300 มิลลิกรัม ในตับและรังไข่ (Valenzuela et al., 2003; Kim et al., 2004; Liu et al., 2010)

4.4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์และการผลิตกรดไขมันระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ ต่อประชากรจุลินทรีย์ และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักทุกระดับ (0, 16, 24 และ 32%) ในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ ได้แก่ *E. coli, Bifidobacterium,* และ *Lactobacillus spp.* บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังหมักสามารถเพิ่มปริมาณกรดอะซิติกและกรดบิไทริกได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในส่วนของกรดโพรพิโอนิก โดยปริมาณของกรดอะซิติกและกรดบิวไทริก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($P<0.05$) ตามระดับของกากมันสำปะหลังหมักที่สูงขึ้น

ถึงแม้ว่ากากมันสำปะหลังหมักไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร แต่กากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณกรดอะซิติกและกรดบิวไทริกได้ ซึ่งกรดไขมันระเหยได้ดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยลด pH ในลำไส้ และซีกัม ไม่ให้เหมาะสมสำหรับการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ปริมาณของกรดอะซิติกและกรดบิวไทริกที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการหมักย่อยเยื่อใยของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus spp.* ในซีกัม (Van Soest, 1982; Donalson et al., 2008; Chotikatum et al., 2009) ถึงแม้ว่าเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยเยื่อใยในกากมันสำปะหลังหมักได้ แต่เยื่อใยเหล่านี้ถูกหมักย่อยและใช้ประโยชน์ได้โดยจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย Hetland and Svihus (2001); Lopes – Lutz et al. (2008) รายงานว่าเยื่อใยมีผลทำให้จำนวน *Coliform* และ *E. coli* ในลำไส้ใหญ่ส่วนต้นลดลง แต่ไม่มีผลในเปลี่ยนแปลงจำนวน *Lactobacillus spp.* ในไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์มีเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ซึ่งเยื่อใยในกากมันสำปะหลังหมักอาจไปมีบทบาทต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้

ตารางที่ 4.11 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่

		Fermented cassava pulp				
	Control	16%	24%	32%	SEM[1]	Trend[2]
Shell weight, g						
week 1 – 2	8.76	8.57	8.47	8.46	0.203	NS[3]
week 1 – 4	8.32	8.93	8.29	9.00	0.252	NS
week 1 – 6	8.28	8.65	8.46	8.88	0.256	NS
week 1 – 8	9.02	8.47	8.68	8.60	0.304	NS
Shell thickness, mm						
week 1 – 2	0.33	0.34	0.33	0.33	0.007	NS
week 1 – 4	0.38^{b}	0.39^{a}	0.40^{a}	0.41^{a}	0.004	L[4]=0.0007
week 1 – 6	0.40	0.40	0.41	0.42	0.009	NS
week 1 – 8	0.40	0.40	0.41	0.40	0.006	NS
Albumen weight, g						
week 1 – 2	36.07	35.93	37.68	38.38	0.699	NS
week 1 – 4	36.56	36.25	36.32	36.03	0.670	NS
week 1 – 6	37.69	36.00	35.26	37.64	0.939	NS
week 1 – 8	37.39	34.89	36.65	38.55	1.013	NS
Yolk weight, g						
week 1 – 2	16.99	16.11	16.17	16.62	0.413	NS
week 1 – 4	16.67	16.55	16.06	16.35	0.389	NS
week 1 – 6	16.92	16.45	16.57	16.42	0.359	NS
week 1 – 8	17.23	16.53	16.87	16.40	0.405	NS
Yolk color score						
week 1 – 2	6.88^{a}	5.31^{b}	4.81^{bc}	4.44^{c}	0.181	L=0.0001
week 1 – 4	6.25^{a}	5.31^{ab}	5.00^{bc}	4.18^{c}	0.314	L=0.0006
week 1 – 6	7.06^{a}	5.62^{b}	4.62^{c}	4.56^{c}	0.209	L=0.0001
week 1 – 8	6.69^{a}	6.25^{a}	5.75^{b}	4.69^{c}	0.339	L=0.0001

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.11 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ (ต่อ)

	Fermented cassava pulp (%)					
	Control	16	24	32	SEM[1]	Trend[2]
Albumen height, mm						
week 1 – 2	8.00[a]	7.18[b]	7.48[ab]	7.68[ab]	0.176	NS
week 1 – 4	7.29	7.51	7.40	7.62	0.224	NS
week 1 – 6	7.67	7.57	8.11	7.56	0.149	NS
week 1 – 8	6.90	6.93	7.65	7.30	0.212	NS
Haugh unit, %						
week 1 – 2	87.41	86.88	85.47	86.24	0.666	NS
week 1 – 4	85.15	85.01	85.26	86.69	0.993	NS
week 1 – 6	85.51[bc]	83.42[c]	90.50[a]	86.78[b]	0.908	L=0.0198
week 1 – 8	80.38[b]	79.99[b]	84.48[a]	86.21[a]	0.885	L=0.0002
Cholesterol, mg/whole egg						
week 1 – 4	166.88	162.47	153.83	156.20	4.89	NS
week 1 – 8	194.08	190.48	188.78	188.93	5.65	NS

[a – c] Means within a row with different letters are significantly different ($p<0.05$)

[1] Standard error of mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant; [4] Linear trend

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.12 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

		Fermented cassava pulp (%)				
	Control	16	24	32	SEM[1]	Trend[2]
Microbial population, log CFU/g						
E. coli	6.34	5.60	5.73	5.63	0.19	NS[3]
Bifidobacterium	8.00	7.26	7.24	7.23	0.25	NS
Lactobacillus spp.	8.20	8.03	8.14	7.81	0.13	NS
Volatile Fatty Acid, µmol/g						
Acetic acid	209.32^{b}	285.44^{a}	294.29^{a}	277.92^{a}	18.61	L=0.0155[4]
Propionic acid	24.48	25.61	24.08	24.32	0.83	NS
Butyric acid	65.35^{b}	82.12^{ab}	97.68^{a}	76.56^{b}	9.38	L=0.0080

$^{a-b}$ Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Standard error of the mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant; [4] Linear trend

4.4.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต

การใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต ได้แก่ เอนไซม์แอสพาเตทอะมิโนทรานฟอเรส (AST) เอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานฟอเรส (ALT) ปริมาณยูเรียไนโตรเจน ปริมาณคอเลสเตอรอล และปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13

เอนไซม์ AST และ ALT เป็นเอนไซม์ที่พบมากในเซลล์ตับ หากเซลล์ตับถูกทำลาย เอนไซม์เหล่านี้จะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Zheng et al., 2012) ดังนั้นการวัดเอนไซม์ AST และ ALT ในการทดลองนี้ จึงเป็นการตรวจสอบสภาพร่างกายเบื้องต้นของสัตว์ที่อาจได้รับพิษจากการกินกากมันสำปะหลังหมัก โดยค่าปกติของเอนไซม์ AST และ ALT ในสัตว์ปีก คือ 52 – 270 และ 6.5 – 263 U/L ตามลำดับ นอกจากนี้อัตราส่วนของ ALT : AST ก็สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเสียหายที่ตับได้ จากการทดลองนี้อัตราส่วน ALT : AST ในอาหารสูตรควบคุม และสูตรกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 16, 24 และ 32% มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.04 โดยอัตราส่วนระหว่าง ALT : AST ไม่ควรเกิน 1

ปริมาณอิมมูโนโกลบูลินในซีรัมเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระดับภูมิคุ้มกันรวม โดยค่าอิมมูโนโกลบูลินของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักทุกระดับมีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่คาดไว้ว่า เยื่อใยในกากมันสำปะหลังหมักอาจถูกหมักย่อยและใช้ประโยชน์ได้โดยจุลินทรีย์ในซีกัม และมีผลในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในไก่ไข่ จากการรวบรวมเอกสาร มีงานวิจัยในไก่ไข่จำนวนหลายงานทดลองด้วยกันที่ได้รายงานว่า เยื่อใยในอาหารสัตว์สามารถกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันได้ โดยการตอบสนองต่อการสร้างภูมิคุ้มกันเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Huang et al., 2004; Kabir et al., 2004; Dalloul et al., 2005; Kerr et al., 2006) นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ยังเปลี่ยนแปลงการสร้างเยื่อเมือกในลำไส้เล็ก และสัดส่วนของไซโตไคน์ (cytokine) ที่ทำหน้าที่กระตุ้นการเพิ่มจำนวนเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน (Chichlowski et al., 2007) แต่จากการทดลองนี้ กากมันสำปะหลังหมักไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน ซึ่งให้ผลสอดคล้องประชากรจุลินทรีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน อาจเป็นไปได้ว่าสัตว์มีความเป็นอยู่ที่สบาย และไม่ได้รับเชื้อโรคใด ๆ จึงไม่มีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน

ตารางที่ 4.13 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต

	Fermented cassava pulp (%)					
	Control	16	24	32	SEM[1]	Trend[2]
AST, U/L	164.75	182.50	178.00	191.25	16.84	NS[3]
ALT, U/L	4.67	6.25	8.50	9.00	0.93	NS
BUN, mg/L	0.65	1.46	1.60	2.20	0.41	NS
Cholesterol, mg/L	89.25	82.75	87.25	75.00	11.75	NS
Total Ig, mg/L	2.44	2.41	2.41	2.39	0.20	NS

[1] Standard error of mean; [2] Refer to polynomial trend analysis; [3] Not significant

4.4.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 16, 24 และ 32% ต่อผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 โดยคำนวณจากรายได้จากการขายไข่ (บาท) ต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลอง (บาท) กำไรสุทธิเบื้องต้น (บาท) และต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ต่อฟอง พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมัก 32% มีต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลองต่ำที่สุด (3,888 บาท) เมื่อเปรียบเทียบกับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดที่มีต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลองสูงสุด (4,251 บาท) แต่อย่างไรไก่ไข่ที่รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 32% มีต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟองสูงสุดและมีกำไรสุทธิเบื้องต้นต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่น ๆ

ถึงแม้การศึกษาครั้งนี้ พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมัก มีผลทำให้ราคาอาหารต่อกิโลกรัมลดลง แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตไข่ด้วย ซึ่งจากการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 24% ให้ผลผลิตไข่ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม และมีต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟองเท่ากับกลุ่มควบคุม อีกทั้งยังให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม อาจเนื่องมาจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในระหว่างการทดลอง ทั้งนี้ข้าวโพดขณะที่ทำการทดลองมีราคาเท่ากับ 12.50 บาทต่อกิโลกรัม และกากมันสำปะหลังหมักมีราคาเท่ากับ 5.40 บาทต่อกิโลกรัม ถ้าหากในอนาคตเมื่อข้าวโพด และกากมันสำปะหลังหมักมีส่วนต่างราคาเป็น 10 บาทต่อกิโลกรัม จะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟองของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 24% ลดลง และมีต้นทุนต่อฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัตถุดิบอาหารพลังงาน เช่น ข้าวโพดมีราคาสูงขึ้น หรือเกิดการขาดแคลน

ตารางที่ 4.14 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่ไข่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

	Fermented cassava pulp (%)			
	Control	16	24	32
จำนวนไก่ไข่เข้าการทดลอง, ตัว	48	48	48	48
อัตราการเลี้ยงรอด, %	100	97.92	97.92	95.83
จำนวนไข่ตลอดการทดลอง, ฟอง	2,491	2,432	2,354	2,190
รายได้จากการขายไข่, บาท (2.40 บาท/ฟอง)	5,978	5,837	5,650	5,265
ราคาอาหาร, บาท/กิโลกรัม	14.74	14.17	13.91	13.65
ต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลอง, บาท	4,251	4,108	4,021	3,888
กำไรสุทธิเบื้องต้น, บาท	1,727	1,729	1,630	1,377
ต้นทุนค่าอาหาร/ไข่ 1 ฟอง, บาท	1.71	1.69	1.71	1.78

4.5 การทดลองที่ 5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่

ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง (20, 25, 30 และ 35%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม (mixed enzymes) ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส กลูคาเนส และไซลาเนส ที่ระดับ 0.1 และ 0.15% ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 35% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวมที่ระดับ 0.1 และ 0.15% ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง เยื่อใย และเถ้า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) สำหรับค่าการย่อยได้ของสารอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน มีค่าลดลงตามระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 20% โดยการเสริมเอนไซม์รวมที่ระดับ 0.1 และ 0.15% มีผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

จากการรวบรวมเอกสาร พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในอาหารไก่เนื้อได้ 8 – 10% (ยุวเรศ และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) และ 20% ในอาหารไก่ไข่ (ผลจากการทดลองที่ 1) โดยไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ธงชาติ (2556) รายงานว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส โดยไม่ผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากการที่เอนไซม์สามารถเพิ่มการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลส กลูคาเนส และไซลาเนส จะทำการย่อยเยื่อใยที่ผนังเซลล์ รวมถึงเมื่อผนังเซลล์ถูกย่อยสลาย ทำให้โภชนะที่อยู่ภายในเซลล์ถูกปลดปล่อย และถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ ส่งผลให้สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในกากมันสำปะหลังได้มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Meng et al. (2005) ที่พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยแบบรวม (ประกอบไปด้วยเอนไซม์ เซลลูเลส เพคติเนส ไซลาเนสผสมกับกลูคาเนส และแมนแนนเนสผสมกับเซลลูเลส) สามารถเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใย แป้ง และการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนได้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.15 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่[1]

Treatment	Enzyme[2]	Nutrient digestibility and retention				
		DM	N	CF	Ash	OM
Control	0	71.01	57.15[a]	32.48	48.57	74.92[a]
20% DCP[3]	0.10%	66.33	52.23[abc]	27.06	48.10	70.16[b]
25% DCP	0.10%	65.34	47.61[bc]	27.35	51.54	68.36[b]
30% DCP	0.10%	64.94	45.05[c]	24.44	52.43	67.54[b]
35% DCP	0.10%	63.62	48.42[bc]	24.81	46.03	67.29[b]
20% DCP	0.15%	67.31	53.49[ab]	27.52	47.44	70.97[ab]
25% DCP	0.15%	64.96	46.46[bc]	26.58	43.05	69.14[b]
30% DCP	0.15%	65.14	47.99[bc]	25.23	49.58	68.18[b]
35% DCP	0.15%	62.39	45.67[bc]	25.09	45.64	65.97[b]
P-value		0.067	0.015	0.304	0.767	0.016
Control vs. DCP + 0.10, 0.15% Enzyme		NS	0.005	NS	NS	0.002
Control vs. DCP + 0.10% Enzyme		NS	0.009	NS	NS	0.003
Control vs. DCP + 0.15% Enzyme		NS	0.009	NS	NS	0.003
DCP + 0.10% Enzyme vs. DCP + 0.15% Enzyme		NS	0.315	NS	NS	0.197

[a - c] Means within a column with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] DM = dry matter, CP = crude protein, CF = crude fiber, OM = organic matter

[3] Enzyme = Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase

[3] DCP = Dried cassava pulp

4.6 การทดลองที่ 6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

4.6.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

ผลการศึกษาการใช้กากมันสำหลัง (20, 25 และ 30%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม (0.10 และ 0.15%) ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.16 โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม 0.10 – 0.15% ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน มวลไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการเสริมเอนไซม์รวม (เซลลูเลส กลูคาเนส และไซลาเนส) ในอาหารไก่ไข่ที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ สามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารได้สูงขึ้นถึง 30% เมื่อเปรียบเทียบกับกากมันปกติในการทดลองที่ 2 ที่ใช้ได้เพียง 20% หรือที่ได้รายงานโดย สุเมธ และคณะ (2552) ที่รายงานว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ 15% ส่วนในอาหารไก่เนื้อ สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ประมาณ 8 – 10% (ยุวเรศ และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) แต่หากเสริมเอนไซม์ไซลาเนส พบว่าสามารถเพิ่มระดับการใช้ได้สูงขึ้นเป็น 16% (ธงชาติ, 2556) Khempaka (2009) รายงานว่าข้อจำกัดหลัก ๆ ที่พบในกากมันสำปะหลัง คือ เยื่อใย โดยหากมีการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารระดับที่สูงเกินไป (มากกว่า 8% ในไก่เนื้อ) มีผลลดการกินได้ เนื่องจากเยื่อใยจะเพิ่มความฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ และไม่น่ากิน รวมถึงระดับเยื่อใยที่สูงเกินไป ยังมีผลลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ในการทดลองนี้เมื่อทำการวัดความหนาแน่นในอาหารทดลอง พบว่ามีค่าเป็น 0.569, 0.498, 0.479, 0.457, 0.495, 0.466 และ 0.440 g/cm^3 ในอาหารสูตร ควบคุม และกากมันสำปะหลัง 20, 25 และ 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.10 และ 0.15% ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูลในตาราง) ซึ่งความหนาแน่นมีค่าลดลงตามระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลกระทบต่อการกินได้

การใช้กากมันสำปะหลังเสริมร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส กลูคาเนส และไซลาเนส ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ย่อยเยื่อใยมีบทบาทสำคัญในการย่อยเยื่อใย มีผลช่วยลดความฟ่าม และเพิ่มความน่ากินของอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบได้สูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยปลดปล่อยโภชนะชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ ทำให้เอนไซม์ที่คัดหลั่งจากทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการรวบรวม

เอกสารเกี่ยวกับการเสริมเอนไซม์ย่อยใยในวัตถุดิบอาหารที่มีเยื่อใยสูง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองนี้ ที่พบว่าสามารถเพิ่มระดับการใช้ได้สูงขึ้น หรือเทียบเท่ากับกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก (Mathlouthi et al., 2002; Meng et al., 2004 และ 2005) ดังนั้นการเสริมเอ็นไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มระดับการใช้ประโยชน์ในอาหารไก่ไข่ได้สูงขึ้น

4.6.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ต่อคุณภาพไข่ และ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

ผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลัง (20, 25 และ 30%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม (0.10 และ 0.15%) ต่อคุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 – 4.18 ตามลำดับ โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม 0.10 – 0.15% ในสูตรอาหาร ไม่มีผลกระทบต่อความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว และความสูงไข่ขาวเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีผลทำให้สีไข่แดงลดลง ($P<0.05$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และ 4 ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีสารสีเป็นองค์ประกอบ สำหรับน้ำหนักไข่ขาว พบว่าการใช้กากมันสำปะหลัง โดยเฉพาะในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ 0.15% ทุกระดับ (20, 25 และ 30%) มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากระดับกรดอะมิโนไลซีนที่มีมากขึ้นตามระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ส่งผลให้ไข่ขาวมีปริมาณมากขึ้น ดังเช่นการทดลองที่ 4 ที่พบว่าค่าฮอร์ยูนิตในไก่กลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้น

การใช้กากมันสำปะหลัง (20 – 30%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์รวม (0.10 – 0.15%) ไม่มีผลในการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง (ตารางที่ 4.18) แต่อย่างไรก็ตามค่าคอเลสเตอรอลที่ได้จากการทดลองนี้ค่อนข้างมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอยู่แล้ว (92.51 – 113.55 มิลลิกรัมต่อฟอง) โดยปกติไข่ไก่มีคอเลสเตอรอลประมาณ 200 – 220 มิลลิกรัมต่อฟอง การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ขึ้นอยู่กับการปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร หรือการนำคอเลสเตอรอลในร่างกายกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่ไก่ไข่จะตอบสนองต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาใหม่วันละ 300 มิลลิกรัม ในตับและรังไข่

ตารางที่ 4.16 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิต มวลไข่ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของไก่ไข่

		0.10% mixed enzymes[1]			0.15 mixed enzymes[1]			SEM	P-value
	Control	20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP	20% DCP	25% DCP	30% DCP		
Egg production, %									
week 0 - 4	94.99	94.96	94.34	93.23	93.68	90.66	92.19	1.43	0.3375
week 4 - 8	93.84	96.27	94.34	94.27	95.17	93.14	93.98	1.05	0.4885
week 8 - 12	93.37	95.07	91.18	92.85	92.26	93.21	92.86	1.35	0.6016
week 0 - 12	94.06	95.43	93.29	93.45	93.70	92.33	93.01	1.12	0.6171
Egg weight, g/egg									
week 0 - 4	61.67	61.21	61.74	61.26	62.28	61.80	62.28	0.58	0.7745
week 4 - 8	62.26	61.77	62.49	62.50	63.37	63.34	63.35	0.52	0.2326
week 8 - 12	62.08	62.01	62.76	63.06	63.62	63.81	63.87	0.53	0.0891
week 0 - 12	62.00	61.66	62.33	62.28	63.09	62.98	63.17	0.53	0.3337
Feed intake, g/h/d									
week 0 – 4	110	111	111	111	111	111	112	1.29	0.9667
week 4 – 8	111	114	114	115	115	116	117	1.34	0.1380
week 8 - 12	111	114	115	118	114	116	118	1.71	0.0727
week 0 - 12	111	113	113	115	113	114	116	1.18	0.1425
Feed conversion ratio, g feed/g egg weight									
week 0 - 4	1.79	1.81	1.80	1.81	1.78	1.79	1.80	0.02	0.9285
week 4 - 8	1.78	1.86	1.83	1.84	1.81	1.83	1.85	0.02	0.4422
week 8 - 12	1.78	1.83	1.83	1.87	1.80	1.82	1.85	0.02	0.2420
week 0 - 12	1.79	1.84	1.82	1.84	1.80	1.82	1.83	0.02	0.3321
Egg mass, g									
week 0 - 4	58.59	58.12	58.24	57.11	58.28	56.02	57.42	0.88	0.4310
week 4 - 8	58.43	59.48	58.96	58.93	60.29	58.99	59.45	0.82	0.7776
week 8 - 12	57.98	58.95	57.23	58.56	58.69	59.48	59.32	1.03	0.7446
week 0 - 12	58.33	58.85	58.14	58.20	59.09	58.16	58.76	0.82	0.9643
Protein efficiency ratio									
week 0 - 4	3.21	3.21	3.19	3.14	3.20	3.21	3.17	0.04	0.7938
week 4 - 8	3.22	3.14	3.14	3.09	3.15	3.14	3.10	0.04	0.4630
week 8 - 12	3.22	3.17	3.14	3.04	3.16	3.15	3.08	0.04	0.1014
week 0 - 12	3.22	3.17	3.16	3.09	3.17	3.17	3.12	0.03	0.1807

[1] Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase

[2] DCP = Dried cassava pulp

ตารางที่ 4.17 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

	Control	0.10% mixed enzymes[1]			0.15% mixed enzymes[1]			SEM	P-value
		20% DCP	25% DCPP	30% DCP	20% DCP	25% DCPP	30% DCP		
Shell thickness, mm									
week 0 – 4	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42	0.43	0.005	0.0869
week 4 – 8	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.45	0.005	0.7678
week 8 - 12	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.42	0.41	0.005	0.1270
week 0 - 12	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.004	0.5096
Shell weight, g									
week 0 – 4	7.89	7.73	7.82	7.84	7.85	7.83	7.60	0.12	0.7001
week 4 – 8	7.96	7.78	7.80	7.83	7.81	7.87	7.82	0.11	0.9387
week 8 - 12	8.36	8.05	8.13	8.12	8.30	8.22	8.15	0.17	0.8393
week 0 - 12	8.07	7.85	7.92	7.93	7.99	7.97	7.86	0.10	0.7291
Albumen weight, g									
week 0 – 4	37.38	37.46	38.55	38.27	39.42	39.49	38.71	0.75	0.3208
week 4 – 8	36.60^{c}	37.07^{bc}	39.22^{ab}	39.35^{ab}	40.00^{a}	38.55^{abc}	39.52^{ab}	0.77	0.0353
week 8 - 12	38.52^{c}	39.26^{bc}	41.94^{a}	38.74^{c}	39.88^{abc}	41.29^{ab}	41.40^{ab}	0.71	0.0105
week 0 - 12	37.50^{b}	37.93^{b}	39.90^{a}	38.79^{ab}	39.77^{a}	39.78^{a}	39.88^{a}	0.57	0.0236
Yolk weight, g									
week 0 – 4	15.97	16.35	16.26	16.55	16.17	15.86	16.01	0.20	0.2684
week 4 – 8	16.23	15.99	16.14	15.99	16.12	15.87	15.87	0.23	0.8955
week 8 - 12	16.26	16.21	16.52	16.01	16.36	16.43	16.54	0.20	0.5612
week 0 - 12	16.15	16.18	16.31	16.19	16.22	16.05	16.14	0.15	0.9450
Yolk color score									
week 0 – 4	5.82^{a}	4.44^{b}	4.63^{b}	3.78^{cd}	4.28^{bc}	4.00^{bcd}	3.56^{d}	0.15	<0.0001
week 4 – 8	5.13^{a}	4.38^{b}	4.25^{bc}	3.78^{cd}	4.38^{b}	4.00^{bc}	3.50^{d}	0.12	<0.0001
week 8 - 12	5.50^{a}	4.50^{b}	4.41^{bc}	4.04^{bc}	4.38^{bc}	4.03^{bc}	3.94^{c}	0.12	<0.0001
week 0 - 12	5.48^{a}	4.44^{b}	4.43^{b}	3.87^{d}	4.34^{bc}	4.01^{cd}	3.67^{d}	0.09	<0.0001

ตารางที่ 4.17 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ (ต่อ)

	Control	0.10% mixed enzymes[1]			0.15% enzymes[1]			SEM	P-value
		20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP	20% DCP	25% DCP	30% DCP		
Albumen height, mm									
week 0 - 4	7.83	7.78	7.62	7.64	7.72	7.80	7.66	0.11	0.7068
week 4 - 8	6.93	7.01	6.87	6.85	6.79	6.85	7.05	0.11	0.6065
week 8 - 12	7.63	7.72	7.63	7.61	7.71	7.78	7.76	0.12	0.9120
week 0 - 12	7.46	7.50	7.37	7.36	7.41	7.48	7.49	0.08	0.7516
Haugh unit, %									
week 0 - 4	87.37	87.15	86.18	86.12	86.46	87.03	86.32	0.69	0.7649
week 4 - 8	82.06	82.64	81.20	80.98	80.35	81.31	82.12	0.71	0.3234
week 8 - 12	84.72	84.90	83.69	83.55	83.40	84.17	84.22	0.56	0.4154
week 0 - 12	85.09	85.37	84.09	84.28	84.30	84.81	84.83	0.49	0.5136

[a - d] Means within a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase

[2] DCP = Dried cassava pulp

ตารางที่ 4.18 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ (mg/whole egg)

	Control	0.10% mixed enzymes[1]			0.15% mixed enzymes[1]			SEM	P-value
		20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP	20% DCP	25% DCP	30% DCP		
4 week	113.55	108.40	108.12	107.83	104.92	103.90	103.96	2.99	0.3009
8 week	106.88	105.93	104.23	104.11	102.52	96.36	93.13	4.33	0.2556
12 week	98.46	96.50	95.02	94.33	96.17	93.34	92.51	4.48	0.9705

[1] Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase

[2] DCP = Dried cassava pulp

4.6.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ค่า pH และค่าชีวเคมีของโลหิต

การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในสูตรอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ ได้แก่ *E. coli, Bifidobacterium* และ *Lactobacillus spp.* และค่า pH ในลำไส้ใหญ่บริเวณซีกัม (ตารางที่ 4.19) นอกจากนี้ค่า BUN และคอเลสเตอรอลในเลือด มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน (P>0.05) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.10% สามารถเพิ่มปริมาณกรดอะซิติกได้สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 30% และเสริมเอนไซม์ 0.15% (P<0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในส่วนของกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวไทริก (P>0.05) ซึ่งอิทธิพลของกากมันสำปะหลังในการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ กรดไขมันระเหยได้ และค่าชีวเคมีของโลหิต ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.6

ตารางที่ 4.19 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ค่า pH ใน digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม และค่าชีวเคมีของโลหิต

	Control	0.10% mixed enzymes[1]			0.15% mixed enzymes[1]			SEM	P-value
		20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP	20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP		
Microbial population, log CFU/g									
E. coli	3.64	3.20	3.07	3.30	3.57	3.18	3.32	0.15	0.1144
Bifidobacterium	7.12	6.94	6.95	6.79	7.09	6.95	7.03	0.15	0.7574
Lactobacillus spp.	6.59	6.31	6.19	6.36	6.38	6.59	6.31	0.21	0.8245
Volatile fatty acid, µmol/g									
Acetic acid	114.82^{bc}	250.74^{a}	113.35^{bc}	120.24^{bc}	184.81^{ab}	107.27^{bc}	101.83^{c}	18.63	<0.0001
Propionic acid	31.97	46.47	40.30	36.92	34.90	34.46	36.84	4.71	0.4398
Butyric acid	24.26	25.71	26.02	26.18	25.38	26.26	24.20	1.51	0.9125
pH	6.90	6.77	7.18	7.21	7.08	7.25	7.15	0.14	0.1955
BUN, mg/L	1.40	1.65	1.83	0.73	1.30	1.33	2.08	0.34	0.1819
Cholesterol, mg/L	91.17	91.50	82.33	92.38	86.50	84.33	90.63	4.47	0.5873
Ammonia, g/100 g fresh digesta	0.642	0.952	0.977	1.148	0.978	1.134	0.965	0.139	0.2494

[a - c] Means within in a row with different letters are significantly different (P<0.05)

[1] Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase; [2] DCP = Dried cassava pulp

4.2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลัง (20, 25 และ 30%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ (0.10 และ 0.15%) ต่อผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจ แสดงไว้ในตารางที่ 4.20 โดยคำนวณจากรายได้จากการขายไข่ (บาท) ต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลอง (บาท) กำไรสุทธิเบื้องต้น (บาท) และต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ต่อฟอง พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 20% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.10% มีต้นทุนค่าอาหารต่อไข่ 1 ฟองต่ำที่สุด ส่งผลให้มีกำไรสุทธิเบื้องต้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ นอกจากนี้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง เมื่อใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25 – 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.1% มีค่าเท่ากับกลุ่มควบคุม (1.75 บาท/ฟอง) อีกทั้งยังให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม อาจเนื่องมาจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในระหว่างการทดลอง ทั้งนี้ข้าวโพดขณะที่ทำการทดลองมีราคาเท่ากับ 13.00 บาทต่อกิโลกรัม และกากมันสำปะหลังมีราคาเท่ากับ 5.00 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าหากในอนาคตข้าวโพดมีราคาแพงหรือขาดแคลน ก็สามารถใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นเป็น 25 – 30% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.1% โดยที่ราคาของข้าวโพด และกากมันสำปะหลังมีส่วนต่างของราคาเป็น 8 บาทต่อกิโลกรัมขึ้นไป ก็จะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟองลดลง และมีต้นทุนต่อฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัตถุดิบอาหารพลังงาน เช่น ข้าวโพดมีราคาสูงขึ้น หรือเกิดการขาดแคลน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.20 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่ไข่ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

		0.10% mixed enzymes[1]			0.15% mixed enzymes[1]		
	Control	20% DCP[2]	25% DCP	30% DCP	20% DCP	25% DCP	30% DCP
จำนวนไก่เข้าการทดลอง, ตัว	48	48	48	48	48	48	48
อัตราการเลี้ยงรอด, %	97.92	97.92	97.92	100.00	100.00	97.92	97.92
จำนวนไข่ตลอดการทดลอง, ฟอง	3,793	3,848	3,761	3,768	3,778	3,723	3,750
รายได้จากการขายไข่, บาท (2.96 บาท/ฟอง)	11,226	11,390	11,133	11,153	11,183	11,020	11,100
ราคาอาหาร, บาท/กิโลกรัม	14.87	14.50	14.38	14.26	14.55	14.43	14.32
ต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลอง, บาท	6,634	6,607	6,573	6,586	6,648	6,650	6,684
กำไรสุทธิเบื้องต้น, บาท	4,593	4,783	4,560	4,567	4,535	4,370	4,416
ต้นทุนค่าอาหาร/ไข่ 1 ฟอง, บาท	1.75	1.72	1.75	1.75	1.76	1.79	1.78
กำไรสุทธิเบื้องต้น/ไข่ 1 ฟอง, บาท	1.21	1.24	1.21	1.21	1.20	1.17	1.18

[1] Mixed enzymes which composed of cellulase, glucanase and xylanase; [2] DCP = Dried cassava pulp

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ในรูปแบบต่าง ๆ คือ กากมันสำปะหลังปกติ กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ กรดไขมันที่ระเหยได้ และการผลิตแอมโมเนีย โดยภาพรวมสรุปได้ว่า

1. กากมันสำปะหลังปกติสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ โดยการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง เพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* เพิ่มการผลิตกรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของจุลินทรีย์ชนิด *E. coli* และปริมาณแอมโมเนีย

2. การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังให้ดีขึ้น โดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งกากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนรวมและโปรตีนแท้เพิ่มขึ้น จาก 1.98 และ 0.98% เพิ่มเป็น 13.25 และ 12.37% กากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 24% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ นอกจากนี้กากมันสำปะหลังหมักยังเพิ่มการผลิตกรดอะซิติก และกรดบิวไทริกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมด้วย

3. กากมันสำปะหลังสามารถใช้ได้ถึง 30% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมที่ระดับ 0.10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ 0.10% สามารถเพิ่มการผลิตกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในส่วนของกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวไทริก

4. การใช้กากมันสำปะหลังในทุกรูปแบบ คือ กากมันสำปะหลังปกติ กากมันสำปะหลังหมัก และกากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ มีผลทำให้สีไข่แดงลดลงตามระดับการใช้ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ มีผลทำให้ระดับสีของไข่แดงลดลง ดังนั้นควรพิจารณาการเสริมสารสีในสูตรอาหาร หรือการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่มีสารสีอาทิเช่น กลีบดอกดาวเรืองแห้ง ใบกระถิน หรือเสริมสารสีสังเคราะห์ในสูตรอาหารเพื่อเพิ่มความเข้มของสีไข่แดง

2. กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น เป็นองค์ประกอบอยู่ต่ำ ดังนั้นควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่หลากหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโนในสูตรอาหาร และควรพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนทรีโอนีนสูง ๆ ทดแทน เช่น เปลือกกุ้ง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

3. การเลือกใช้กากมันสำปะหลังที่ได้มาจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ต่างกัน รวมถึงกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณภาพของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ ระดับเยื่อใย และระดับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง และควรคำนึงถึงระดับเยื่อใยในสูตรอาหาร นอกจากนี้ควรพิจารณาเลือกใช้กากมันสำปะหลังที่ไม่มีสิ่งปลอมปน เช่น กรวด หิน หรือปูน เป็นต้น เนื่องจากอาจมีผลต่อการใช้ย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้โภชนะของไก่ไข่

4. การหมักวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่มีการใช้ยูเรียเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน นอกจากวัดปริมาณโปรตีนรวมแล้ว ควรทำการวัดปริมาณโปรตีนแท้ที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากค่าดังกล่าวสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ และเป็นค่าที่สัตว์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง

5. การขยายสเกลการหมักกากมันสำปะหลังให้ใหญ่ขึ้น ควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของหัวเชื้อเพื่อช่วยให้เชื้อรา *A. oryzae* สามารถเจริญเติบโตได้เร็วและดีที่สุด อีกทั้งเนื่องจากเชื้อราดังกล่าวมีลักษณะการเจริญบนผิวหน้าของวัตถุดิบ ดังนั้นการออกแบบถังหมักให้มีใบพัดที่จะใช้กวนกากมันสำปะหลัง หัวเชื้อ และยูเรียให้เข้ากันได้อย่างทั่วถึงจะทำให้เชื้อราเจริญได้ดี สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูง และลดการตกค้างของยูเรียได้

6. การพิจารณาเลือกใช้เอนไซม์เพื่อเสริมร่วมกับกากมันกากมันสำปะหลัง ควรพิจารณาเลือกใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่มีความหลากหลายหรือเอนไซม์รวม จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้เอนไซม์เพียงเดี่ยว ๆ

7. ระดับการใช้กากมันสำปะหลังในรูปแบบต่าง ๆ ที่แนะนำ อยู่บนพื้นฐานที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเทียบเท่า หรือสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน แต่กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนต่ำและพลังงานปานกลางจำเป็นต้องใช้น้ำมันรำและกากถั่วเหลืองสูงขึ้น เพื่อให้มีปริมาณโปรตีนและพลังงานเพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ ด้วยเหตุนี้หากต้องการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ควรพิจารณาถึงภาวะราคาของน้ำมันรำและกากถั่วเหลืองร่วมด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กรกช ฮามสุโพธิ์, ทรงศักดิ์ วัฒนชัยสรีกุล และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2545. การใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลัง. วิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. 6(1): 39-46.

กรมโรงงงานอุตสาหกรรม. 2551. กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.thailandtapiocastarch.net

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยานี วุฒศรี, เพิ่มศักดิ์ ศิริวรรณ และ บัวเรียม มณีวรรณ. 2551. ผลของการใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Amylomyces rouxii* เสริมในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 46: หน้า 31-38.

จรัญ ฉัตรมานพ. 2551. การผลิตโปรติเอสจาก *Aspergillus oryzae* ด้วยวิธีการหมักแบบแห้งในถังหมักแบบแพคเบค. รายงานการวิจัย ภาควิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลนิชา ทองขลิน. 2548. การคัดเลือกเชื้อรา*Aspergillus* ที่ผลิตเอนไซม์อาหารสัตว์และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์ด้วยการเพาะเลี้ยงแบบ solid state ที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล. 2543. อาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังหมัก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชาติ สุริยวงค์. 2556. ผลของกากมันสำปะหลังเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยเทคโลยีสุรนารี.

ธัญรัตน์ สหายา, จรัญ ฉัตรมานพ และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2551. การพัฒนาถังหมักแพคเบคเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเอนไซม์โปรติเอสสำหรับการหมักแบบแห้ง. ภาควิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นันทกร บุญเกิด, สุรีลักษณ์ รอดทอง และ หนึ่ง เตียอำรุง. 2543. การเปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการทางชีวภาพให้เป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนสูงเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์. รายงานการวิจัย สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นิลุบล บุตรโพธิ์ศรี. 2543. ผลของการใช้มันเส้นดัดแปลง (โดยการเสริมโปรตีนจากพืชชนิดต่าง ๆ และสารสีจากดอกดาวเรือง) ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บุญศรี จงเสรีจิตต์. 2543. การผลิตเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* โดยกระบวนการหมักแบบแห้งในระดับกึ่งอุตสาหกรรม. วิ. มหาวิทยาลัยศิลปากร. 19-20(2): 169-187.

ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และ ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2552. ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 132–140.

มานิตย์ อ่อนนางใย. 2553. การผลิตเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* โดยใช้ผลิตผลการเกษตรราคาถูกและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิ.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 29(2): 158-164.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2555. ผลสำรวจมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.tapiocathai.org/Mainpage.html

ยุวเรศ เรืองพานิช, อรประพันธ์ ส่งเสริม, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, สุชาติ สงวนพันธุ์, อรทัย ไตรวุฒานนท์ และอรรถวุฒิ พลายบุญ. 2550. การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ปีก. รายงานการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ยุวเรศ สังวราภรณ์. 2538. ผลการเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของไขมันในไข่แดงและสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 33. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 106–112.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ และ สาโรช ค้าเจริญ. 2543. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวโพดเทียบกับการผลิตข้าวโพดวิทยาศาสตร์จากมันสำปะหลัง. วิ. สาส์นไก่และการเกษตร. 48(8): 44-51.

ฤทัยรัตน์ โต้งกระโทก. 2553. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโลยีสุรนารี.

วิรชัย พลโรม, อุษา กลิ่นหอม และ ชูศรี ตลับมุข. 2536. การใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์ในอาหารไก่ไข่. วิ. เกษตรศาสตร์. 27: 177–185.

ศรีสุดา ศิริเหล่าไพศาล, เยาวมาลย์ ค้าเจริญ และ บัณฑิตย์ เต็งเจริญกุล. 2554. ผลของการเสริมเมลามีนหรือยูเรียฟอมาดีไฮด์หรือส่วนผสมของทั้งสองชนิดต่อสมรรถนะการผลิตในไก่ไข่. วิ. แก่นเกษตร. 39: 10-16.

สกล คำไข่. 2547. การเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค. วิ. วิจัยและส่งเสริมวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 21(2): 43-51.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. เนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย. [ออนไลน์].ได้จาก: http://www.oae.go.th/main.php

สมเจต ใจภักดี. 2530. การศึกษาวิธีการหมักมันสำปะหลัง และการนำมันสำปะหลังหมักมาใช้ในอาหารไก่กระทงและนกกระทา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. 2556. เปรียบเทียบราคาของข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2552 – 2556. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.thaifeedmill.com/ราคา/tabid/78 tabid/78/Default.aspx.

สุนันทา วงศ์ปิยชน, ละม้ายมาศ ยังสุข และ พูลศรี สว่างจิต. 2550. การผลิตไวน์ข้าวจากเชื้อบริสุทธิ์ *Aspergillus oryzae* และ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ต่าง ๆ. ผลงานวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าว. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. จุลชีววิทยาทางอาหาร. ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ.

สุเมธ ไตรพฤกษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และ สุกัญญา รัตนทับทิมทอง. 2552. ผลของระดับกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 165–173.

สุวรรณา พรหมทอง. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยา จุลกายวิภาค และจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไก่กระทงที่ได้รับอาหารสูตรมันสำปะหลังกับอาหารสูตรข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสกสม อาตมางกูร, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, เนรมิต สุขมณี สุกัญญา, รัตนทับทิมทอง, ยุวเรศ เรืองพานิช, ทิพย์มนต์ ใยเกษ และ วรรณี ชิงปรีชา. 2550. การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสุกร. รายงานการวิจัย จากสำหนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เสริมศักดิ์ มานะเลิศสกุล. 2546. การผลิตอาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังและกากน้ำตาลโดยการหมักแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมศักดิ์ มานะเลิศสกุล และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2545. การผลิตอาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังและกากน้ำตาล โดยใช้เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* และ *Rhizopus* sp. 26R. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12.

อนันตภัทร บุญยะกมล และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ. 2548. การใช้กากมันสำปะหลังผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อใช้ผสมในอาหารสัตว์. ว. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 19(2): 41-50.

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกร และสัตว์ปีก. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโธ. 2546. การผลิตมันเส้นคุณภาพดีเกรดอาหารสัตว์. สมาคมผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.

อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพ็ชร์, เทอดศักดิ์ คำเหม็ง, ฉลอง วชิราภากร และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ. 2550. การใช้มันสำปะหลังหมักแบบกึ่งแห้งด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Adamafio, N.A., M. Sakyiamah, and J. Tettey. 2010. Fermentation in cassava *(Manihot esculenta* Crantz) pulp juice improves nutritive value of cassava peel. Afr. J. Biochemis. Res. 4(3): 51-56.

Aina, A.B.J., and O.F. Animo. 1997. Substitution of maize with cassava and sweet popato meal as the energy source in the ration of layer diets. Pertanika. J. Trop. A. gri. 74(4): 299-302.

Akindahunsi, A.A., G. Oboh, and A.A. Oshodi. 1999. Effect of fermenting cassava with *Rhizopus oryzae* on the chemical composition of its flour and gari products. Miramare - Trieste.

Alam, M.J., M.A.R. Howlider, M.A.H. Pramanik, and M.A. Haque. 2 0 0 3 . Effect of exogenous enzyme in diet on broiler performance. Int. J. Poult. Sci. 2: 168-173.

Ali, D., Soewarno, N., Sumarno, Primarini, D. and Sumaryono, W. 2011. Cassava pulp as a biofuel feedstock of an enzymatic hydrolysis process. MAKARA. J. Technol. 2: 183-192.

Allain, C.C., L.S. Poon, C.S.G. Chan, W. Richmond, and P.C. Fu. 1974. Enzymatic determination of total serum cholesterol. Clin. Chem. 20: 470–475.

An, B.K., B.L. Cho, S.J. You, H.D. Paik, H.I. Chang, S.W. Kim, C.W. Yun, and C.W. Kang. 2008. Growth performance and antibody response of broiler chicks fed yeast derived β–glucan and single–strain probiotics. J. Anim. Sci. 21(7): 1027–1032.

Anino, J.S., and R.W. Giese. 1976. Clinical chemistry: principles and procedures. 4th ed. Boston, Little Brown and company.

Apata, D.F. 2011. Effect of *terminalia catappa* fruit meal fermented by *Aspergillus niger* as replacement of maize on growth performance, nutrient digestibility,

and serum biochemical profile of broiler chickens. Biotech. Res. International. 10: 1-6.

AOAC. 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist. 17th ed. Assoc. Anal. Chem., Arlington, VA.

Bedford, M.R., and J.D. Summers. 1985. Influence of the ratio of essential to nonessential amino acids on performance and carcase composition of the broiler chick. Br. Poult. Sci. 26: 483–491.

Bedford, M.R., and H.L. Classen. 1992. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in the carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency of broiler chicks. J. Nutr. 21: 560-569.

Begum, F., N. Absar, and M. Shah Alam. 2009. Purification and characterization of extracellular cellulase from *A. oryzae* ITCC-4857.01. J. of Appl. Sci. Res. 5(10): 1645-1651.

Belewu, M.A., and F.T. Babalola. 2009. Nutrient enrichment of waste agricultural residues after solid state fermentation using *Rhizopus oligosporus*. J. Appl. Biosci. 13: 695-699.

Belghith, H., S. Ellouz-Chaabouni. and A. Gargouri. 2001. Biostoning of denims by penicillium occitanis: Cellulases. J. Biotechnol. 89(6): 257-262.

Bergman, E.N. 1990. Energy contribution of volatile fatty acid from the gastro-intestinal tract in various species. Physiol. Rev. 70: 567–590.

Biely, P., M. Vrsanska, and S. Kucar. 1992. Identification and mode of action of endo-(1->4)-β-xylanases. Progress in biotechnology, vol. 7: 81-95. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Boonnop, K., M. Wanapat, N. Nontaso, and S. Wanapat. 2009. Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation. J. Agric. Sci. 66: 629-633.

Bowland, J.P. 1972. Unprocessed rapeseed treated with propionic acid in diets of growing pigs: performance, energy and protein digestibility, and nitrogen retention, carcass measurement, and fatty acid composition of back fat. Can. J. Anim. Sci. 52(3): 553–562.

Branton, S.L., B.D. Lott, J.W. Deaton, W.R. Maslin, F.W. Austin, L.M. Pote, R.W. Keirs, M.A. Latour, and E.J. Day. 1997. The effect of added complex carbohydrates or added dietary fiber on necrotic enteritis lesions in broiler chickens. Poult. Sci. 76: 24–28.

Buchert, J., A. Suurnakki, M. Tenkanen, and L. Viikari. 1996. Enzymatic characterization of pulps, in enzymes for pulp and paper processing. Jeffries, T.W. and L. Viikari (eds.). ACS Symp Ser. 655: 38-43.

Challenge Group. 2007. Xylanase. Cited 23 February 2007 (online). Available http://www.challenge.com.cn/english/2007/1015/article_15.html

Charina, A. 2010. Camote, cassava, peanuts may lower blood cholesterol level. Cited 18 October 2013 (online). Available: http://www.fnri.dost.gov.ph.

Chauynarong, N., P.A. Iji, and U. Kanto. 2010. Optimum of cassava pulp in diets for layers. Aust. Poult. Sci. Symp. 12: 136-139.

Chichlowski, M., J. Croom, B.W. Mcbride, L. Daniel, G. Davis, and M.D. Koci. 2007. Direct-fed microbial primalac and salinomycin modulate whole-body and intestinal oxygen consumption and intestinal mucosal cytokine production in the broiler chick. Poult. Sci. 86: 1100-1106.

Chotikatum, S., I. Kramomthong, and K. Angkanaporn. 2009. Effect of medium chain fattyacid, organic acid and fruto-oligosaccaride on cecal *Salmonella enteritidis* colonization and intestinal parameters of broilers. Thai J. Vet. Med. 39(3): 245-258.

Chumpawadee, S., A. Chantiratikul, and S. Satsweesuk. 2009. Effect of dietary inclusion of cassava yeast as probiotic source on egg production and egg quality of laying hens. J. Poult. Sci. Res. 8(2): 195-199.

Chutmanop, J., S. Chuichlcherm, Y. Chisti, and P. Srinophakun. 2008. Protease production by *Aspergillus oryzae* in solid-state fermentation using agroinduatrial substrates. J. Chem. Technol. and Biot. 83: 1012-1018.

Coles, B.H. 2007. Essentials of avian medicine and surgery. Blackwell Publication. Oxford.

Costa. F.G.P., C.F.S. Oliveira, C.C. Goulart, D.F. Figueiredo, and R.C.L. Neto. 2008. Use of exogenous enzymes on laying hens feeding during the second production cycle. Int. J. Poult. Sci. 7(4): 333-338.

Coughlan, M.P., M.A. Tuohy, E.X.F. Filho, J. Puls, M. Claeyssens, M. Vrsanska, and M.M. Hughes. 1993. Enzymological aspects of microbial hemicellulases with emphasison fungal systems. In: Coughlan, M.P. and G.P. Hazlewood (eds.) Hemicellulose and hemicellulases. Portland Press, London, pp. 53–84.

Dalloul, R.A., H.S. Lillehoj, N.M. Tamim, T.A. Shellem, and J.A. Doerr. 2005. Induction of local protective immunity to *Eimeria acervulina* by a *Lactobacillus*-based probiotic. Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis. 28: 351-361.

Demigne, C., C. Morand, M.A. Levrat, C. Besson, C. Moundras, and C. Remesy. 1995. Effect of propionate on fatty acid and cholesterol synthesis and on acetate metabolism in isolated rat hepatocytes. Br. J. Nutr. 74: 209–219.

Djuma' ali, N. Soewarno, Sumarno, D. Primarini, and W. Sumaryono, 2011. Cassava pulp as a bio fuel feedstock of an enzymatic hydrolysis process. Makara. Seri. Teknologi. 15: 183–192.

Donalson, L.M., W.K. Kim, V.I. Chalova, P. Herrera, J.L. Mc-Reynolds, V.G. Gotcheva, D. Vidanovic, C.L. Woodward, L.F. Kubena, D.J. Nisbet, and S.C. Ricke. 2008. In vitro fermentation response of laying hen cecal bacteria to combinations of fructooligosaccharide prebiotics with alfalfa or a layer ration. Poult. Sci. 87: 1263-1275.

Dunkley, K.D., T.R. Callaway, V.I. Chalova, J.L. McReynolds, M.E. Humeb, C.S. Dunkley, L.F. Kubena, D.J. Nisbet, and S.C. Ricke. 2009. Foodborne Salmonella ecology in the avian gastrointestinal tract. Anaerobe. 15: 26–35.

Eastwood, M.A., and C.S. Boyd. 1967. The distribution of bile salts along the small intestine of rats. Biochim. Biophys. Acta. 137: 393–396.

Eruvbetine, D.E., and B. Oguntona. 1997. Unpeel cassava root meal in diets for laying hen. Trop. Agri. 74 (4): 299-302.

Ezekiel1, O.O., O.C. Aworh, H.P. Blaschek, and T.C. Ezeji. 2010. Protein enrichment of cassava peel by submerged fermentation with *Trichoderma viride* (ATCC 36316). Afr. J. Biotechnol. 9(2): 187-194.

Faria, D.E., R.H. Harms, and G.B. Russel. 2002. Threonine requirement of commercial laying hens fed corn – soybean meal diet. Poult. Sci. 81: 809-814.

Feng, J., X. Liu, Z.R. Xu, Y.Y. Liu, and Y.P. Lu. 2007a. Effects of *Aspergillus oryzae* 3.042fermented soybean meal on growth performance and plasma biochemical parameters in broilers. J. Anim. Feed Sci. and Tech. 134: 235-242.

Feng, J., X. Liu, Z.R. Xu, Y.Z. Wang, and J.X. Liu. 2007b. Effects of fermented soybean meal on digestive enzyme activities and intestinal morphology in broilers. Poult. Sci. 86: 1149-1154.

Fernandez–Rubio, C., C. Ordonez, J. Abad–Gonzalez, A. Garcia–Gallego, M.P. Honrubia, J.J. Mallo, and R. Balana–Fouce. 2009. Butyric acid–based feed additives help protect broiler chickens from *Salmonella Enteritidis* infection. Poult. Sci. 88: 943 – 948.

Fox, H.M., and G. Vevers. 1960. The nature of animal colours. Sidgwick and Jackson Ltd., London.

Francis, F., A. Sabu, K.M. Nampoothiri, G. Szakacs, and A. Pandey. 2002. Synthesis of **α**-amylase by *Aspergillus oryzae* in solid-state fermentation. J. Basic. Microb. 42: 320-326.

Galante, Y.M., A. De Conti, and R. Monteverdi. 1998. Application of Trichoderma enzymes in food and feed industries, in Trichoderma & Gliocladium–enzymes, biological control and commercial applications. Harman, G.F. and C.P. Kubicek (eds.) (Taylor and Francis, London). 327-342.

Gao, F., Y. Jiang, G.H. Zhou, and Z.K. Han. 2007. The effects of xylanase supplementation on performance characteristics of the gastrointestinal tract blood parameters and gut microflora broilers fed on wheat based diets. Anim. Feed Sci. Technol. 142: 173-184.

Gusakov, A.V., A.G. Berlin, N.K. Popova, O.N. Okunev, and A.P. Sinitsyna. 2000. A comparative study of different cellulose preparations in the enzymatic treatment of cotton fabrics. Appl. Biochem. Biotechnol. 88: 119-126.

Hargis, P.S. 1988. Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl – a review. Poult. Sci. 44: 17–29.

Heeok, H., O.D. Abanto, K.H. Kim, K.T. Nam, J.Y. Son, W.S. Jung, I.S. Nam, and S.G. Hwang. 2010. The effects of dietary soybean fermented with *Aspergillus oryzae* or *Bacillus natto* on egg production and egg lipid composition in layer. J. Food Sci. Anim. Resour. 30: 609-616.

Herd, T. 1997. Digestion: the fermentative process. In Cunningham G. (ed). Veterinary physiology. Pennsylvania.

Hetland, H., and M. Choct. 2003. Role of insoluble non–starch polysaccharides in poultry nutrition. Poult. Sci. 14: 38 – 46.

Hetland, H., and A. Svihus. 2001. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. Br. Poult. Sci. 42: 354–361.

Huang, M.K., J.L. Choi, R. Houde, J.W. Lee, B. Lee, and X. Zhao. 2004. Effects of *lactobacilli* and an acidophilic fungus on the production in Nigeria. World J. Microbiol. Biotechnol. 20: 51-56.

Jimenez–Moreno, E., J.M. Gonzalez–Alvarado, D. Gonzalez–Sanchez, R. Lazaro, and G.G. Mateos. 2010. Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. Poult Sci. 89: 2197–2212.

Jozefiak, D., A. Rutkowski, and S.A. Martin. 2004. Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. Anim. Feed Sci. Tech. 113: 1–15.

Kabir, S.M.L., M.M. Rahman, M.B. Rahman, and S.U. Ahmed. 2004. The dynamics of probiotics on growth performance and immune response in broilers. Int. J. Poult. Sci. 3: 361-364.

Kamran, Z., M. Sarwar, M. Nisa, M.A. Nadeem, S. Mahmood, M.E. Babar, and S. Ahmed. 2008. Effect of low-protein diets having constant energy to protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty-five days of age. Poult. Sci. 87: 468-474.

Kerr, B.J., C.J. Ziemer, S.L. Trabue, J.D. Crouse, and T.B. Parkin. 2006. Manure composition of swine as affected by dietary protein and cellulose concentrations. J. Anim. Sci. 84: 1584-1592.

Khempaka, S., W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. J. Poult. Sci. Res. 18: 487–493.

Kim, J.H., S.T. Hong, H.S. Lee, and H.J. Kim. 2004. Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. Poult. Sci. 83: 1539–1543.

Kottwitz, B., and F. Schambil. 2005. Cellulase and cellolose containing detergent, US Pat, 20050020472.

Kritchevsky, D. 1978. Fiber, lipids and atherosclerosis. Am. J. Clin. Nutr. 31: S65–S74.

Kritchevsky, D., and I.A. Story. 1974. Binding of bile salts in vitro by nonnutritive fiber. J. Nutr. 104: 458–462.

Kumta, U.S., and A.E. Harper. 1961. Amino acid imbalance. VII. Effects of dietary additions of amino acid on food intake and blood urea concentration of rats fed low protein diet containing fibrin. J. Nutr. 73: 139–147.

Leeson, S., and J.D. Summers. 1997. Commercial poultry nutrition. 2nd ed. Ontario, Canada. 356 p.

Levrat, M.A., M.L. Favier, C. Moundras, C. Rkmesy, C. Demignt, and C. Morand. 1994. Role of dietary propionic acid and bile acid excretion in the hypocholesterolemic effects of oligosaccharides in rats. J. Nutr. 124: 531–538.

Lirette, A., A.R. Robinson, D.C. Crober, P.D. Lawson, and N.L. Firth. 1993. Effect of oat bran, cottonseed hulls and guar gum on chicken egg and blood lipids during the early laying period. Can. J. Anim. Sci. 73: 673–677.

Liu, X., H.L. Zhao, S. Thiessen, J.D. House, and P.J.H. Jones. 2010. Effect of plant sterol-enriched diets on plasma and egg yolk cholesterol concentrations and cholesterol metabolism in laying hens. Poult. Sci. 89: 270-275.

Lopes-Lutz, D., D.S. Alviano, C.S. Alviano, and P.P. Kolodziejczyk. 2008. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. Phytochem. 69: 1732-1738.

Mathlouthi, N., S. Mallet, L. Saulnier, B. Quemener, and M. Labier. 2002. Effects of xylanase and beta-glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico chemical conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley based diet. Anim. Res. 51: 395-406.

Maurer, K.H. 1997. Development of new cellulases, in enzymes in detergency. Edited by Jan H. Van Ee, O. Misset, and E.J. Baas. Marcel Dekker, New York. 175-202.

McNaughton, J.L. 1978. Effect of dietary fiber on egg yolk, liver, and plasma cholesterol concentrations of the laying hen. J. Nutr. 108: 1842–1848.

Meng, X. and B.A. Slominski. 2005. Nutritive values of corn soybean meal canola meal and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. Poult. Sci. 84: 1242-1251.

Meng, X., B.A. Slominski, and W. Guenter. 2004. The effect of fat type carbohydrase and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broiler fed wheat based diets. Poult. Sci. 83: 1718-1727.

Meng, X., B.A. Slominski, C.M. Nyachoti, L.D. Campbell, and W. Guenter. 2005. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. Poult. Sci. 84: 37-47.

Michael, J.L., and E.P. Burtor. 1995. A photographic atlas for the micobiology laboratory. Mortor Publishing, New York.

Mirzaie, S., M. Zaghari, S. Aminzadeh, M. Shivazad, and G.G. Mateos. 2012. Effects of wheat inclusion and xylanase supplementation of the diet on productive performance nutrient retention and endogenous intestinal enzyme activity of laying hens. Poult. Sci. 91: 413–425.

Motta, F.L., C.C.P. Andrade, and M.H.A. Santan. 2013. A review of xylanase production by the fermentation of xylan: classification, characterization and applications. Cited 15 May 2013 (online). Available: http://dx.doi.org/10.5772/53544

Mourao. J.L., P.I.P. Ponte, J.A.M. Prates, M.S.J, Centeno, L.M.A, Ferreira, M.A.C. Soares, and C.M.G.A. Fontes. 2006. Use of β-glucanases and β-1,4 xylanases to supplement diets containing alfalfa and rye for laying hens: effects on bird performance and egg quality. J. Appl. Poult. Res. 15: 256–265.

Nesheim, M.C., R.E. Austic, and L.E. Card. 1979. Poultry production. 12th ed. Philadephia: Lea & Febiges.

North, M.O., and D.D. Bell. 1990. Commercial chicken production manual. AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut.

NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th ed. National Academy of Science Washington, DC.

Oboh, G. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisae* and *Lactobacillus spp* solid media fermentation techniques. Electronic J. Biotechnol. 9: 46-49.

Oboh, G., A.A. Akindahunsi, and A.A. Oshodi. 2002. Nutrient and anti-nutrient contents of Aspergillus niger-fermented cassava products (flour and garri). J. Food Compos. Anal. 15: 617-622.

Oboh, G., and A.A. Akindahunsi. 2005. Nutritional and toxicological evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermented cassava flour. J. Food Compost Anim. 18: 731-738.

Oboh, G., and C.A. Elusiyan. 2007. Changes in the nutrient and anti-nutrient content of microfungi fermented cassava flour produced from low-and medium-cyanide vaiety of cassava tubers. Afr. J. Biotechnol. 6(18): 2150-2157

O' Connella, J.M., T. Sweeneya, J.J. Callana, and J.V. O' Doherty. 2005. The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on nutrient digestibility, intestinal microflora, volatile fatty acid concentration and manure ammonia emissions from finisher pigs. Anim. Sci. 81: 357–364.

Onifade, A.A., O.O. Tewe, O. Okunola, and A.O. Fanimo. 1999. Performance of laying pullets fed on cereal-free diets based on maize offal, cassava peel and reject cashew nut meal. Br. Poult. Sci. 40(1): 84-87.

Onu, P.N. 2013. Supplementation of exogenous enzyme to laying hens diets containing heat treated sheep manure: effects on performance and egg quality. IJAIR. 1: 188-194.

Pond, W.G., K.R. Pond, D.C. Church, and P.A. Schoknecht. 2005. Basic animal nutrition and feeding. 5th ed. USA.

Rangilal, D.S., C.V. Dinorkar, and A.S. Kaikani. 1995. Studies on the partial replacement of maize by tapioca meal in broiler ration. Poultry–adviser. 28(4): 49–52.

Ranjihan, S.K. 1980. Animal nutrition in tropics. 2nd ed. Vikas Publishing House.

Rattanachomsri, U., S. Tanapongpipat, L. Eurwilaichirt, and V. Champreda. 2009. Simultaneous non-thermal saccharification of cassava pulp by multi-enzyme activity and ethanol fermentation by *Candida Tropicalis*. J. Biosci. Bioeng. 107(5): 488-493.

Remesy C., C. Demigne and C. Morand. 1995. Metabolism of short–chain fatty acids in the liver. Quoted in Cummings, J.H., J.L. Rombeau, and T. Sakata (eds.). Physiological and clinical aspects of short–chain fatty acids. Cambridge University Press, U.K.

Roberfroid, M. 1993. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 33(2): 103–148.

Rowe, A., F.A.F. Macedo, J.V. Visentainer, N.E. Souza, and M. Matsushita. 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in dry lot or pasture. Meat Sci. 51: 283–288.

Salami, R.I., and A.A. Odusi. 2003. Evaluation of processed cassava peel meals as substitutes for maize in diets of layers. Int. J. Poult. Sci. 2(2): 112-116.

Sarikhan, M., H.A. Shahryari, K. Nazer – Adl, B. Gholizadeh, and B. Behesht. 2009. Effects of insoluble fiber on serum biochemical characteristics in broiler. J. Agric. Biol. 11: 73–76.

Sibbald, I.R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs. Poult. Sci. 55: 303–308.

SPSS. 2004. User's Guide, Version 13.0. SPSS Inc., Chicago, IL

Sriroth, K., R. Chollakup, S. Chotineeranat, K. Piyachomkwan, and C.G. Oates. 2000. Processing of cassava waste for improve biomass utilization. Bioresour. Technol. 71: 63 – 69.

Stark, A.H., and Z. Madar. 1993. In vitro production of short–chain fatty acids by bacterial fermentation of dietary fiber compared with effects of these fibers on hepatic sterol synthesis in rats. J. Nutr. 123: 2166–2173.

Suksombat, W., P. Lounglawan, and P. Noosen. 2006. Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. Suranaree J. Sci. Technol. 14: 99–107.

Tang, D.F., Y.J. Ru, S.Y. Song, M. Choct, and P.A. Iji. 2012. The effect of cassava chips, pellets, pulp and maize based diets on performance, digestion and metabolism of nutrients for broilers. J. Anim. Veterinary Advances. 11(9): 1332-1337.

Tester, R.F., J. Karkalas, and X. Qi. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. Elsevier Science. 39: 151-165.

Thongkratok, R., S. Khempaka, and W. Molee. 2010. Protein enrichment of cassava pulp using microorganisms fermentation techniques for use as an alternative animal feedstuff. J. Anim. Veterinary Advances. 9(22): 2859-2862.

Valenzuela, A., J. Sanhueza, and S. Nieto. 2003. Cholestreol oxidation: health hazard and role of antioxidants in prevention. Biol. Res. 36: 291–302.

Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books Inc., Corvallis, OR.

Vukic, V.K., and C. Wenk. 1996. Influence of *trichoderma viride* enzyme complex on nutrient utilization and performance of laying hens in diets with and without antibiotic supplementation. Poult. Sci. 75: 551-555.

Wegner, M.S., J.L. Kelley, E.C. Nelson, P. Alaupovic, and R.H. Thayer. 1978. Lipid metabolism in laying hen: the relationship of plasma lipid and liver fatty acid synthetase activity to changes in liver composition. Poult. Sci. 57: 959–967.

Weiss, F.G., and M.L. Scott. 1978. Effect of dietary fiber, fat and total energy upon plasma cholesterol and other parameters in chicken. J. Nutr. 109: 693–701.

Widyaratne, G.P., and M.D. Drew. 2011. Effects of protein level and digestibility on the growth and carcass characteristics of broiler chickens. Poult. Sci. 90: 595-603.

Willis, R.B., M.E. Montgomery, and P.R. Allen. 1996. Improved method for manual, colorimetric determination of total Kjeldahl nitrogen using salicylate. J. Agric. Food Chem. 44(7): 1804–1807.

Wikipedia. 2013. *Aspergillus niger*. Cited 20 October 2013 (online) https://fr.wikipedia.org/wiki/Aspergillus_niger

Wikipedia. 2013. Enzyme. Cited 20 October 2013 (online). Available: http://www.wikipedia.org/wiki/Enzyme

Wikipedia. 2015. File: types of cellulase2.png. Cited 18 May 2015 (online). Available: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Types_of_Cellulase2.png

Wolever, T.M., P.J. Spadafora, S.C. Cunnane, and B. Pencharz. 1995. Propionate inhibits incorporation of colonic [1, 2 $^{-13}$C] acetate into plasma lipids in humans. Am. J. Clin. Nutr. 61: 1241–1247.

Wu, H., K.M. Dwyer, Z. Fan, A. Shircore, J. Fan, and J.H. Dwyer. 2003. Dietary fiber and progression of atherosclerosis: the Los Angeles atherosclerosis study. Am. J. Clin. Nutr. 78: 1085–1091.

Yeoh, H.H. 1998. Monitoring the cyanogenic potential of cassava: the trend towards biosensor development. Elsevier Science. 17: 234-240.

Zambare, V. 2010. Soli state fermentation of *Aspergillus oryzae* for glucoamylase production on agro residues. Int. J. Life Sci. 4: 16-25.

Zamora, R.G., and T.V. Veum. 1978. The nutritive value of dehulled soybeans fermented with *Aspergillus oryzae* or *Rhizopus oligosporus* as evaluated by rats. J. Nutr. 109: 1333-1339.

Zamora, R.G., and T.V. Veum. 1979. Whole soybeans fermented with *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* for growing ping. J. Anim. Sci. 48: 63-68.

Zanu, H.K., J.K. Kagya-agyemang, and C.M. Avukpor. 2013. Effects of enzyme (xzyme) supplementation on the performance of laying hens fed diets containing different levels of cassava (*manihot esculenta, crantz*) leaf meal. J. Anim. Feed Res. 3(1): 09-14.

Zdunczyk, Z., J. Juskiewicz, J. Jankowski, E. Biedrzycka, and A. Koncicki. 2005. Metabolic response of the gastrointestinal tract of turkeys to diets with different levels of mannan oligosaccharide. Poult. Sci. 84: 903–909.

Zheng, L., S.T. Oh, J.Y. Jeon, B.H. Moon, H.S. Kwon, S.U. Lim, B.K. An, and C.W. Kang. 2012. The dietary effects of fermented *Chlorella vulgaris* (CBT) on production performance, liver lipids and intestinal in laying hens. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 25(2): 261-266.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

Name : Sutisa Khempaka (Ph.D.)

Position : Lecturer

Address : School of Animal Production Technology
Institute of Agricultural Technology
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima 300000, Thailand
Tel. (66 44) 224572 Fax (66 44) 224150
E- mail: khampaka@sut.ac.th

Date of Birth : September 14, 1975

Place of Birth : Surin

Education :

B.Sc. (1998) Animal Science (First Honor), Ubon Ratchathanee University, Thailand

M.Sc. (2002) Animal Nutrition, Khon Kaen University, Thailand

Ph.D. (2006) Animal Nutrition and Feed Science, Gifu University, Japan

Work Experience :

2002 - present : Lecturer, School of Animal Production Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Thailand

Papers published in international and national journals

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. J. Poult. Sci. 43: 250-254.

Khempaka, S., M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of chitin in shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. J. Poult. Sci. 43: 339-343.

Khempaka, S., W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuffs for broilers: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs and nutrient digestibility. J. Appl. Poult. Res. 18: 487-493.

Thongkratok, R., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2010. Protein enrichment of cassava pulp using microorganisms fermentation techniques for use as an alternative animal feedstuff. J. Anim. Vet. Adv. 9(22): 2859-2862.

Khempaka, S., C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2011. Evaluation of chitin and protein constituents in shrimp meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids and ammonia production in broilers. J. Appl. Poult. Res. 20: 1-11.

Pudpila, U., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. J. Agri. Sci. and Tech A. 1336-1340.

Khempaka, S., U. Pudpila and W. Molee. 2013. The effect of dried peppermint (*Mentha cordifolia*) on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, antioxidant properties and ammonia production in broilers. J. Appl. Poult. 22(4): 904-912.

Khempaka, S., R. Thongkratok, S. Okrathok and W. Molee. 2014. An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae,* on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. J. Poult. Sci. 50: 71-79.

จรณี จิตสัจจพงศ์ วิทธวัช โมฬี และ**สุทิศา เข็มผะกา**. 2552. ผลของการเสริมเปลือกกุ้งป่นในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และการตอบสนองภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ. วารสารแก่นเกษตร. 37 (4): 331-338.

เอกพล พูนชัย **สุทิศา เข็มผะกา** วิทธวัช โมฬี และจักร์ โนจากุล. 2553. บทบาทของกลูตามีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาระบบทางเดินอาหารสุกรหย่านม. วารสารแก่นเกษตร. 38 (1): 39-46.

Papers published in international conferences

Khempaka, S., M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Effects of shrimp meal on growth performance, digestibility, nitrogen retention and meat color in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2005. Tokyo, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Growth performance, digestibility and nitrogen retention in growing broiler given diets containing 4 to 16% of shrimp

meal. Japanese Poultry Science Association, Autumn Meeting 2005. Kumamoto, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. High calcium content in shrimp meal had little effect on growth performance in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2006. Fukuoka, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2007. The *in vitro* measurement of dry matter and crude protein digestibilities of shrimp meal. First International Conference on Sustainable Animal Agriculture in Developing Countries, Kunming Yunnan, China.

Khempaka, S., W. Molee, R. Thongkratoke, C. Chitsatchapong, and E. Poonchai. 2008. Fermentation of cassava pulp with *Aspergillus oryzae* and *Candida utilis* for improved nutrients as an alternative feedstuff for animals. The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008. Hanoi, Vietnam.

Khempaka, S., and W. Molee. 2008. Effect of cassava pulp on growth performance and digestibility in broilers. The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008. Hanoi, Vietnam.

Khempaka, S., C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2009. Measurement of chitin efficiencies on growth performance and ammonia production in broilers. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries, November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Chisatchapong, C., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Homta. 2009. Effect of chitin constituent in shrimp meal on nutrient digestibility, hematology and immune response in broilers. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Thongkratok, R., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Homta. 2009. Evaluation of fermented cassava pulp on growth performance and nutrient digestibility in broilers. 2009. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Poonchai, E., **S. Khempaka**, W. Molee, and J. Nojakul. 2009. Effect of glutamine supplementation on growth performance and intestinal microbial population of weaned pigs. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Khempaka, S., N. Chaiyasit, and W. Molee. 2010. Effect of dietary shrimp meal on microbial populations and ammonia production in broilers administered with *Lactobacillus* spp. and *Bacillus* spp. The 14th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23-27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.

Molee, W., **S. Khempaka,** C. Chitsatchapong and P. Puttaraksa**.** Effects of dietary Tuna Oil on growth performance and fatty acid composition of meat in Thai Native Chickens**.** The 14th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23-27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.

Pudpila, U., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Suriyawong, T., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. The *In Vitro* evaluation of non-starch polysaccharide digestibility of cassava pulp using xylanase enzyme. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Khempaka, S., and K. Koh. 2011. Effect of covering with acidified sawdust on ammonia volatilization during composting of poultry manure. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Chaokaur, A., **S. Khempaka**, T. Matsumoto, J. Takahashi. and T. Nishida. 2011. Effect of ruminal dosing of mechanical stimulating brush on methane emission from rumen in dry cows. The 3rd International Conference on Sustainable Animal

Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Khempaka, S., S. Okrathok, L. Hokking, B. Thuhanon, and W. Molee. 2011. Influence of supplemental glutamine on nutrient digestibility and utilization, small intestinal morphology and gastrointestinal tract and immune organ developments of broiler chickens. World Academy of Science, Engineering and Technology. August 24-26, 2011. Paris, France.

Khempaka, S. and W. Molee. 2012. An evaluation of glutamine feed supplementation on the immune response, intestinal morphology and growth performance of broilers, at various stages of development. ADSA®-AMPA-ASAS –CSAS-WSASAS Joint Annual Meeting. July 15-19, 2011, Phoenix, Arizona, USA.

Khempaka, S., Poonchai, E. and W. Molee. (2012). Efficacy of glutamine enriched diet on the growth performance, hematology and blood urea nitrogen of weaned pigs. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Suriyawong, T., **S. Khempaka**, and W. Molee. (2012). The effects of xylanase enzyme supplementation in diets containing dried cassava pulp on nutrient digestibility and growth performance of broilers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Okrathok, S., **S. Khempaka**, and W. Molee. (2012). Effects on cassava pulp fermented with *A. oryzae* on nutrient digestibility and ammonia production of laying hens. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Hokking, L., **S. Khempaka**, and W. Molee. (2012). An evaluation of the metabolizable energy and nutrient digestibility of dried cassava pulp in layers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Maliwan, P., C. Sripaoraya, P. Nuansritong, and **Khempaka, S.** (2012). Effect of pineapple bran on the growth performance and carcass quality of brolilers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Khempaka, S., S. Terapuntuwat, W. Wongsrikeao, and P. Pakdee. 2013. Responses of broiler chicks to methionine hydroxyl analog and DL-methionine using fish meal or full fat soybean meal as the sole source of protein. World Academy of Science, Engineering and Technology. January 14-15, 2013. Zurich, Switzerland.

Khempaka, S., T. Suriyawong, and W. Molee. 2014. Xylanase supplementation improve nutrient digestibility in broilers fed dried cassava pulp. In EAAP 2014 65th Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 25-29 August 2014, Copenhagen, Denmark.

Samdangchi T., W. Molee and **Khempaka S.** 2015. Effect of dietary vitamin E, selenium and omega-3 on fertility and hatchability of SUT female broiler breeders. The 1st International Conference on Native Chicken. February 23-25, 2015. Centara Hotel. Khon Kean, Thailand.

Maliwan, P., S. Khempaka and W. Molee. 2015. Metabolizable energy requirement of Thai indigenous crossbred (50%) chickens (Korat chickens) from 0–3 weeks of age. The 1st International Conference on Native Chicken. February 23-25, 2015. Centara Hotel. Khon Kean, Thailand.

Khempaka, S., P. Pasri, S. Okrathok, and W. Molee. 2015. Responses of weaned pigs to organic acids on growth performance and intestinal mucosa morphology. In EAAP 2015 66th Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 31 August-4 Sep 2015, Warsaw, Poland.

Maliwan, P., **S. Khempaka** and W. Molee. 2015. Effects of dietary energy on growth performance of Korat chickens from 3 to 6 weeks of age. In EAAP 2015 66th Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 31 August-4 Sep 2015, Warsaw, Poland.