ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ — **สาขา**

สัตวบาล — **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

Effect of Cassava Pulp Diet on Feed Pelleting Process, Nutrient Availability and Growth Performance in Weaning Pigs

นามผู้วิจัย นางสาวนุจิรา ทักษิณานันต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐชนก อมรเทวภัทร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D. Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... **เดือน**..... **พ.ศ.**.....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

Effect of Cassava Pulp Diet on Feed Pelleting Process, Nutrient Availability and Growth Performance in Weaning Pigs

โดย

นางสาวนุจิรา ทักษิณานันต์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นุจิรา ทักษิณานันต์ 2553: ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารและสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 63หน้า

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองย่อย โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 สูตรคือสูตรควบคุม (ไม่มีกากมันสำปะหลัง) และสูตรที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดและคุณภาพของเม็ดอาหาร พบว่าอาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความชื้นระหว่างกระบวนการคลุกไอน้ำ (อาหารผงร้อน) ต่ำกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย (11.23 เปอร์เซ็นต์ และ 12.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่งผลให้พลังงานการอัดเม็ดสูงกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ค่าพลังงานการอัดเม็ดของสูตรควบคุมและสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 11.3 และ 16.1 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ตามลำดับ แต่คุณภาพของเม็ดอาหารที่ได้ของทั้ง 2 สูตรนั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน พลังงาน และวัตถุแห้งของอาหารทดลองในสุกรระยะอนุบาลอายุ 5 สัปดาห์ จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 12 ตัว โดยใช้วิธี total collection พบว่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P> 0.05$)

การทดลองที่ 3 ศึกษาสรรถภาพของสุกรระยะอนุบาล โดยนำอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร มาเลี้ยงสุกรอนุบาลอายุ 5 สัปดาห์จำนวน 128 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 8 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า สุกรทั้งสองกลุ่มการทดลอง มีปริมาณการกินอาหารต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สุกรที่ได้อาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

_____ _____ __ / __ / __

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nujira Taksinanan 2010: Effect of Cassava Pulp Diet on Feed Pelleting Process, Nutrient Availability and Growth Performance in Weaning Pigs. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Seksom Attamangkune, Ph.D. 63 pages.

The objective of this study was to elucidate the effect of pelletized diet containing cassava pulp to weaning pigs. The study divided to 3 experiments. In each experiment, control diet (no cassava pulp) and treatment diet (10% cassava pulp) were compared on pelleting characteristic, nutrient availability and growth performance of weaning pigs.

Experiment 1. Diet containing 10 percents of cassava pulp had lower moisture content during stream conditioning than control diet (11.23 % VS 12.31%). Consequently, the increase in energy consumption for pelleting process was observed in the 10 % cassava pulp diet (16.1 kWh/t) compared that of control diet (11.3 kWh/t). However, both experimental diets were not different ($P>0.05$) in pellet quality.

Experiment 2. Twenty-four, 5 wks old, weaned pigs were randomly subjected to two pelletized diets (no cassava pulp and 10% cassava pulp diets) with 12 pigs per treatment. All pigs were reared in metabolic cages and total fecal collection method was applied to determine the nutrient availability of both diets. No significant differences ($P> 0.05$) on the availability of dry matter, protein and gross energy between both diets were observed.

Experiment 3. One hundred and twenty-eight, 5 wks old, weaned pigs were divided into 2 dietary treatments (8 pens per treatment and 8 pigs per pen). Pigs fed pelletized cassava pulp diet demonstrated poor average daily gain and feed conversion ratio ($P<0.05$) compared to those fed pelletized control diet despites no significant in average daily feed intake in both group was found.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสม อาตมางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. ณัฐชนก อมรเทวภัทร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุวเรศ เรืองพานิช กรรมการที่ปรึกษา สำหรับการให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุนและให้การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณผู้บริหาร ผู้จัดการ ผู้ประสานงาน และพนักงานของบริษัทไบโอเจน ฟีดมิลล์ จำกัดและไบโอเจน ฟาร์ม ทุกท่านที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการผลิตอาหารและสถานที่ในการทำการทดลอง ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในทุกด้าน จนการทดลองเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนแหล่งเงินทุนในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองและตัวอย่างต่างๆ รวมทั้งภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้บริหาร และพนักงานบริษัท บิ๊ค เคมิคอล จำกัดทุกท่าน ที่เห็นความสำคัญ ให้โอกาสและสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่เป็นที่รักยิ่งอันได้แก่ครอบครัว พ่อ แม่ ญาติ พี่น้อง ที่คอยเป็นที่ปรึกษา เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาของข้าพเจ้าด้วยดีมาตลอด รวมไปถึงเพื่อน รุ่นพี่ และรุ่นน้อง ขอขอบคุณสุกรทดลองทุกตัวที่ทำให้มีโอกาสในการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริง ซึ่งได้นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้มาประกอบการเขียนจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

นุจิรา ทักษิณานันต์

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	60
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของกรดอะมิโนในตัวอย่างกากมันสำปะหลัง	12
2	เปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ	13
3	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากการสุ่มตัวอย่างจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงานและเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 โรงงาน	14
4	องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง	15
5	ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรระยะอนุบาล อายุ 5-8 สัปดาห์	29
6	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ ความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังและองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง	38
7	ผลของกากมันสำปะหลังต่ออุณหภูมิ ความชื้นของอาหารในระหว่างกระบวนการผลิต ค่าพลังงานการอัดเม็ด และคุณภาพของเม็ดอาหาร	39
8	ผลการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ในรูปของอาหารอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานรวมของสุกรระยะอนุบาล	44
9	ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ในรูปของอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล	47

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณอาหารที่กินเป็นรายสัปดาห์ของสุกรระยะอนุบาล	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์	8
2	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ไม่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์	9
3	กรงเมทาบอลิคที่ใช้ในการศึกษาค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร	32
4	แสดงภาพภายนอกโรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง	34
5	แสดงภาพภายในห้องที่ใช้ในการทดลอง	35
6	แสดงลักษณะคอกสุกรที่ใช้ในการทดลอง	35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารและสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

Effect of Cassava Pulp Diet on Feed Pelleting Process, Nutrient Availability and Growth Performance in Weaning Pigs

คำนำ

อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศไทย โดยประเทศไทยส่งออกแป้งมันสำปะหลังสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของโลก และเกษตรกรหันมาปลูกมันสำปะหลังกันมากขึ้น เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนต่อโรคและแมลง ผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังอย่างหนึ่งก็คือกากมันสำปะหลัง ซึ่งมีแป้งค่อนข้างมากคือประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับสายพันธุ์ พื้นที่ปลูก เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ดังนั้นกากมันสำปะหลังจึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มพลังงานแหล่งอื่นที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง แต่กากมันสำปะหลัง มีลักษณะฟ่าม ฟู เป็นฝุ่น มีเยื่อใยในระดับสูง ความน่ากินต่ำ ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กินและการย่อยได้ของสารอาหารของสัตว์ โดยเฉพาะสุกรระยะเล็กที่ระบบทางเดินอาหารยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์ กระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารจะช่วยลดปัญหาเรื่องความฟ่ามของอาหาร เพิ่มความน่ากิน และเพิ่มปริมาณการกินอาหารของสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่รายงานว่าการคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารจะช่วยลดเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบอาหารสัตว์ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ให้ดีขึ้น

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ผ่านการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยศึกษาผลต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด คุณภาพของเม็ดอาหาร ตลอดจนผลของการใช้อาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดดังกล่าวต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรระยะอนุบาล และความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบทดแทนกลุ่มพลังงานสำหรับผลิตอาหารสัตว์ ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อการคลุกไอน้ำ การอัดเม็ดและคุณภาพของเม็ดอาหาร

2. เพื่อศึกษาอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์และผ่านการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะอนุบาล

3. เพื่อศึกษาอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์และผ่านการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ถิ่นกำเนิดและสายพันธุ์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. ถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้ บราซิล เม็กซิโก มีการเรียกชื่อต่างๆ กัน ตามรากศัพท์ภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส เช่น cassava, mandioca, yucca, tapioca และ manioc (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)

โดยทั่วไปมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามปริมาณไซยาไนด์ ได้แก่ ชนิดขม (bitter type) และชนิดหวาน (sweet type) (อัจฉรา และจรุงสิทธิ์, 2537)

ชนิดขม (bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณสารไซยาไนด์สูง ซึ่งเป็นพิษและมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง ในขณะเดียวกันก็เป็นมันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์ของแป้งสูง จึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกเพื่อป้อนเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น เช่น กลูโคส แอลกอฮอล์ แป้งดัดแปร เป็นต้น

ชนิดหวาน (sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ มีปริมาณแป้งต่ำ ไม่มีรสขม มีเนื้อสัมผัสที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีทั้งชนิดเนื้อร่วน เนื้อนุ่ม และเนื้อแน่นเหนียว จึงนิยมนำมาบริโภคโดยตรง เช่น ต้ม ปิ้ง เชื่อม เป็นต้น ทำให้มีราคาสูงกว่าชนิดขม ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด และมีราคาสูงกว่าชนิดขม

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง และยังเป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน เช่น ประเทศในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย โดยผลผลิตที่ได้ถูกใช้เพื่อเป็นอาหารมนุษย์ ร้อยละ 60 อาหารสัตว์ ร้อยละ 27.5 และอื่นๆ อีกร้อยละ 12.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับที่ 4 รองจากยางพารา อ้อย และข้าว มีพื้นที่ปลูกประมาณ 7,750,413 ไร่ ซึ่งมากเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากไนจีเรียและบราซิล เพราะมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย มีศัตรูรบกวนน้อย ทนทานต่อความไม่แน่นอนของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี และฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม่จำกัด ทำให้การจัดการด้านแรงงานทำได้สะดวก (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2552) แหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา คิดเป็นร้อยละ 26.45 ของผลผลิตทั้งหมด รองลงมาคือจังหวัดชัยภูมิ และสระแก้ว คิดเป็นร้อยละ 4.91 และ 4.82 ของผลผลิตทั้งหมด ตามลำดับ ผลผลิตทั้งหมดใช้ในประเทศเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็นการบริโภคโดยตรงในรูปของแป้งมันสำปะหลัง 15 เปอร์เซ็นต์ และอาหารสัตว์ 5 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)

จากการวิเคราะห์สถานการณ์สินค้าเกษตรและแนวโน้มในปี พ.ศ 2553 รายงานโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) ในปีพ.ศ. 2552 ที่ผ่านมา ประเทศไทยได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากภาวะแล้ง ทำให้ผลผลิตลดลงจากปีที่แล้ว และใช้ภายในประเทศ 20-25 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผ่านมาประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้มันสำปะหลังขยายตัวมากขึ้น ประกอบกับทิศทางราคาสินค้าธัญพืชและพืชน้ำมัน รวมทั้งข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเหลือง ปรับตัวสูงขึ้น ทำให้แต่ละประเทศหันมาใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ในประเทศทดแทนการนำเข้ามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เพื่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามทิศทางอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มหดตัวลงประกอบกับมีการใช้กากเหลือจากการกลั่นเอทานอล เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มากขึ้น ความต้องการใช้มันสำปะหลังเพื่ออาหารสัตว์จะลดลง

สำหรับแนวโน้มปี พ.ศ. 2553 คาดว่าผลผลิตจะลดลงจากปีที่ผ่านมา คิดเป็นร้อยละ 16.82 เนื่องจากการระบาดของเพลี้ยแป้งในแปลงมันอายุน้อย เกษตรกรได้ไถมันทิ้งและปลูกข้าวโพดแทน เพื่อตัดวงจรเพลี้ย และปลูกอ้อยแทนมันสำปะหลัง สำหรับแปลงมันสำปะหลังอายุ 4 เดือนขึ้นไป ที่มีการระบาดของเพลี้ยแป้งผลผลิตต่อไร่ลดลง ทางด้านความต้องการใช้ในประเทศ เพิ่มขึ้นจาก 9.01 ล้านตันหัวมันสด ในปีพ.ศ. 2552 เป็น 9.18 ล้านตันหัวมันสด ในปี พ.ศ. 2553 โดยความต้องการใช้มันสำปะหลังเพื่อผลิตอาหารสัตว์ได้ปรับตัวสูงขึ้นมาก ขณะที่ราคามันสำปะหลังอ่อนตัวลงเล็กน้อยจากปีก่อน ทำให้การใช้ในอาหารสัตว์อยู่ในระดับสูงและจูงใจใช้มันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอลขยายตัวมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พลังงานทดแทน เป็นต้น จากสถิติของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในเดือนกันยายน พ.ศ. 2552 พบว่ามีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวนทั้งสิ้น 61 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

แป้งมันสำปะหลัง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2548) คือ

1. แป้งมันสำปะหลังดิบ (native starch) คือแป้งที่เกิดจากการแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดขั้นต้นและไม่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงร่วมในกระบวนการผลิต หลักการคือ การสกัดแป้งออกจากเซลล์ของหัวมันสำปะหลัง โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด เพราะโปรตีน เกลือแร่ สิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ดี และใช้เครื่องกลเช่นการแยกเหวี่ยง (centrifuge) ในอัตรารอบสูงๆ (แรงแยกสูง) เนื่องจากโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมต่างมี มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกับแป้งมาก

2. แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (modified starch) คือแป้งที่ได้จากการผลิตแป้งดิบไปผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโมเลกุลเพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น คุณสมบัติด้านความเหนียว สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แป้งแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับแป้งมันสำปะหลังดิบ เพราะมีราคาสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังดิบกว่าเท่าตัว

การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะด้วยกัน คือระยะแรก การพัฒนากระบวนการผลิตโดยอาศัยการชะล้างแป้งออกจากหัวมันสด แล้วแป้งที่ได้จะนำมาอบให้แห้ง ระยะที่สองมีการพัฒนาโดยใช้การเหวี่ยงแยกแป้งกับน้ำทิ้งออกจากกัน และทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว จะได้แป้งที่มีคุณภาพสูง ซึ่งปัจจุบันมีสมาชิกของสมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย จำนวน 48 ราย ที่ใช้เทคโนโลยีนี้ ส่วนระยะที่สามคือการพัฒนาการผลิตที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยเป็นหลัก โดยใช้หลักการของ GMP (Good Manufacturing Practices) และ HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) รวมทั้งของมาตรฐาน ISO 9000 เพื่อใช้ในการจัดการพลังงานและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต สำหรับโรงงานในประเทศไทยมีการพัฒนาอยู่ในระยะที่สองและมีแนวโน้มจะพัฒนาไปสู่ระยะที่สามในอนาคต (Thai Tapioca Starch Association [TTCA], 2009)

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

หลักการผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ คือการสกัดแป้งออกจากเซลล์ของรากมันสำปะหลังโดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด แต่เนื่องจากโปรตีน เกลือแร่ สิ่งแปลกปลอมอื่นๆ สามารถละลายน้ำได้ดี จึงมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้เครื่องกลเช่นการเหวี่ยงแยก (centrifuge) ในอัตรารอบสูงๆ เนื่องจากโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกับแป้งมาก การสกัดแป้งได้แป็นที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีคุณภาพคงที่ ปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งจะใช้วิธีการผลิตแบบสลัดแห้ง โดยผ่านเครื่องดีแคนเตอร์ (ภาพที่ 1) และไม่ผ่านเครื่องดีแคนเตอร์ (ภาพที่ 2) ซึ่งการผ่านเครื่องดีแคนเตอร์จะแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้งก่อนปั๊มน้ำแป้งเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง ทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพ โดยกรรมวิธีการผลิตมีดังนี้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

1. สุ่มตัวอย่างมันสำปะหลัง ทำการชั่ง และวัดเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลังสด ใช้เครื่องวัดแบบ Reimann scale เพื่อตรวจวัดความหนาแน่นและประมาณเนื้อแป้งโดยชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำ น้ำหนักที่ชั่งได้น้อยในน้ำแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อย ในทางกลับกันน้ำหนักที่ชั่งได้มากในน้ำแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก

2. มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงผ่านระบบสายพานเพื่อแยกเอาดินทราย และเศษเปลือกหรือรากไม้ที่ปนมากับหัวมันออก

3. หัวมันสำปะหลังสะอาดจะเข้าสู่เครื่องล้างและเครื่องสับหัวมันตามลำดับ ในระหว่างนี้จะมีการเติมน้ำเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อทำการโม่หัวมันให้มีขนาดเล็ก และการโม่ทำได้สะดวกมากขึ้น

4. ของเหลวที่มีส่วนของน้ำแป้ง ไขมัน โปรตีน และเส้นใย จะเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์ เพื่อแยกเอาน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง ในส่วนของแป้ง กาก และเส้นใย จะเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง โดยเครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) จะได้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง นำน้ำแป้งที่ได้มาฟอกในสารละลายกำมะถันเพื่อให้น้ำแป้งบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น กากมันสำปะหลังที่ได้จะเข้าสู่เครื่องอัดกากมันเพื่อรีดเอาน้ำออก นำไปตากแห้งที่ลานตากมัน เพื่อนำไปใช้ในอาหารสัตว์ต่อไป

5. น้ำแป้งจะถูกทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น โดยผ่านเครื่องแยกแป้ง (separator) น้ำสะอาดจะถูกป้อนเข้าไปเพื่อแทนสิ่งเจือปนในน้ำแป้ง น้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตจะถูกนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกันในแต่ละโรงงาน เช่น การนำไปผลิตเป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมันเตาโดยวิธีหมักชีวภาพ น้ำแป้งถูกลดความชื้นด้วยเครื่องสลัดแห้ง จากนั้นอบให้แห้งโดยใช้ลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส

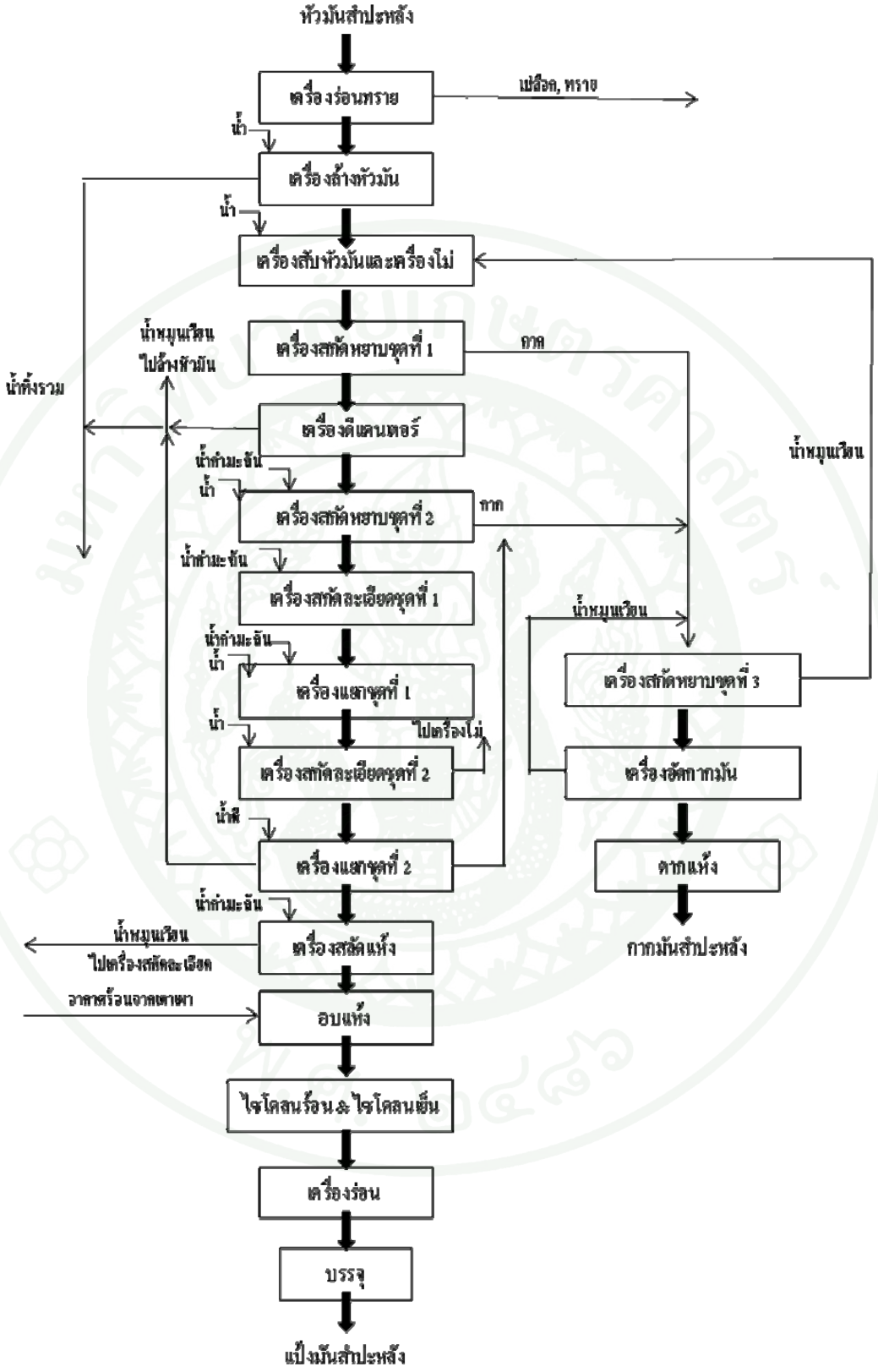
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. แป้งที่แห้งสนิทและแตกตัวเป็นผงจะผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้ง ให้ได้แป้งละเอียด หลังจากนั้นนำแป้งที่ผลิตได้มาบรรจุใส่ถุงในลำดับต่อไป ซึ่งแป้งที่ได้จะมีความชื้นประมาณ 9-11 เปอร์เซ็นต์

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังเมื่อออกจากกระบวนผลิตมีลักษณะเป็นกากเปียก ความชื้นประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น และเมื่อผ่านเครื่องอัดกากมันสำปะหลัง และนำไปตากหรืออบให้แห้ง จะได้กากมันสำปะหลังแห้ง โดยหัวมันสำปะหลังสด 1 ตัน จะให้กากมันสำปะหลังแห้งประมาณ 60 กิโลกรัม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552) กากมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งเหลืออยู่ประมาณ 50-69 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งมีคุณสมบัติเป็นแป้งที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้สูง เหมาะแก่การนำมาเป็นอาหารสัตว์ แต่กากมันสำปะหลังมีเยื่อใยในระดับสูงคือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ มีความฟ่าม และเป็นฝุ่นสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

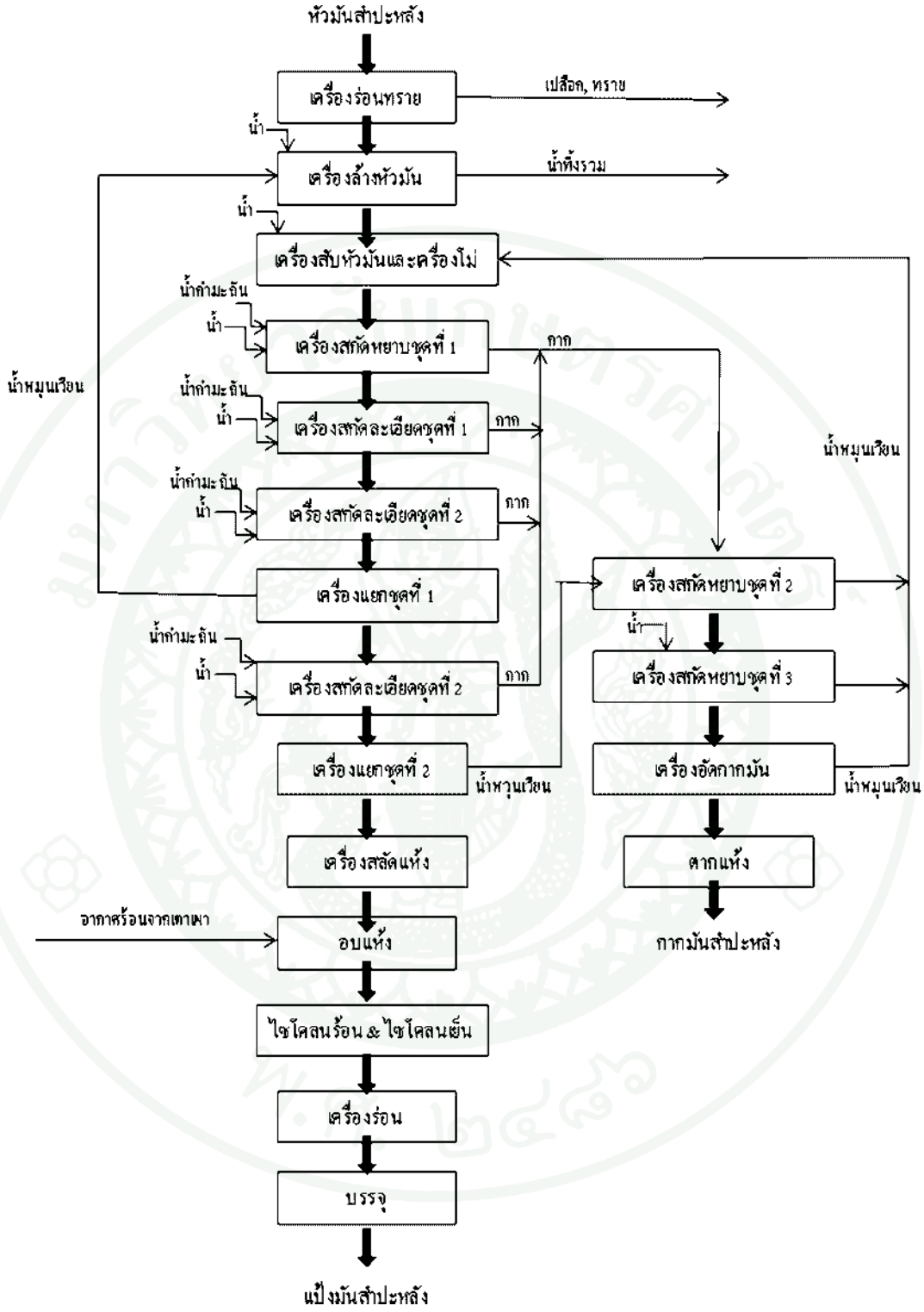
นอกจากกากมันสำปะหลังจะถูกใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แล้ว ปัจจุบันมีการพัฒนาไปสู่การผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลัง เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานทดแทน โดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐในการศึกษาวิจัย ขั้นตอนการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยใช้กรดหรือเอ็นไซม์ และการหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอลด้วยยีสต์ เช่น *Saccharomyces serevisiae* เป็นต้น (ชลดา และคณะ, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ไม่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของกากมันสำปะหลัง มีลักษณะใกล้เคียงกับมันสำปะหลังแห้ง คือมีลักษณะฟ่าม แห้ง และเป็นฝุ่น โดยความฟ่ามของกากมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยที่ 364 กรัมต่อลิตร และมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ 12.11 เปอร์เซ็นต์ (เสกสม และคณะ, 2550) ซึ่งอาจมีผลระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจของสัตว์ สัตว์อาจมีการไอและจามได้ ทำให้สัตว์กินอาหารลดลง มีผลให้สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการ แก้ปัญหาโดยการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของอาหารโดยการเสริมไขมันที่ระดับ 2.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ หรือกากน้ำตาล 5-8 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร เพื่อลดความเป็นฝุ่น และเพิ่มความน่ากิน หรืออาจเลี้ยงในรูปของอาหารอัดเม็ด (Attamangkune, 2007)

เปอร์เซ็นต์ทรายในตัวอย่างกากมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยที่ 2.16 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงถึง 47.69 เปอร์เซ็นต์ (เสกสม และคณะ, 2550) และจากรายงานของปรีดา (2552) รายงานปริมาณทรายในกากมันสำปะหลัง (acid insoluble ash) มีค่าเท่ากับ 1.58 เปอร์เซ็นต์ โดยความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ทรายที่ตรวจพบนั้น ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการตากกากมันสำปะหลังสดที่ได้จากกระบวนการสกัดแป้งว่ามีสภาพการตากอย่างไร (ลานปูนซีเมนต์หรือลานดิน) โดยมาตรฐานปริมาณทรายอาจใช้มาตรฐานเดียวกับมันเส้น คือ มีปริมาณเถ้าไม่มากกว่า 3.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณทราย ไม่มากกว่า 1.0–2.0 เปอร์เซ็นต์ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

แป้ง

เมื่อพิจารณาปริมาณโภชนะของกากมันสำปะหลังจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง พบว่ากากมันสำปะหลังมีแป้งหลงเหลืออยู่มาก จึงถูกนำไปใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนที่เป็นแหล่งพลังงานในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยแป้งที่พบในกากมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากโครงสร้างของแป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด คือ อะไมโลเพคติน (amylopectin) 83-84 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลส (amylose) 16-17เปอร์เซ็นต์ (ลัดดา, 2549; Chauynarong *et al*, 2009) ซึ่งอะไมโลเพคตินมีคุณสมบัติในการละลายได้ดี ทำให้แป้งมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูง และเอื้อต่อการทำงานของเอ็นไซม์อะไมเลสจากตัวสัตว์ ส่งผลต่อการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของสารอาหารสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้สัดส่วนของแป้งมีความแปรปรวนซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว ฤดูกาลเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝน สภาวะแวดล้อมที่ปลูกมันสำปะหลัง และเทคโนโลยีในการผลิต เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เยื่อใย

เยื่อใยของกากมันสำปะหลังมีค่าตั้งแต่ 4.6–16.1 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ (NDF) 37 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส (ADF) 9.8 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน (ADL) 3.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูง ทำให้มีผลต่อค่าพลังงาน การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารลดลง (อุทัยและสุกัญญา, 2547) จากการศึกษาการย่อยได้ของไขมันและโปรตีนของกากมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 71.51 และ 67.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการย่อยได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลังภายในระบบทางเดินอาหารนั้น ระดับเยื่อใยมีผลกระทบทำให้การย่อยได้ของสัตว์ลดลง อันเนื่องมาจากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งที่เป็นส่วนประกอบในกากมันสำปะหลัง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน เบต้า-กลูแคน เพนโตซาน และไซแลน ซึ่งเยื่อใยเหล่านี้จะดูดน้ำเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ทำให้เกิดสภาวะข้นหนืดและเข้าจับกับสารอาหาร ทำให้น้ำย่อยจากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลส (non-cellulose NSP) ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ซึ่งอาจมีส่วนช่วยส่งเสริมกระบวนการหมักย่อยสารเยื่อใยภายในลำไส้ใหญ่ของสัตว์ และมีแนวโน้มที่จะช่วยให้สุขภาพของระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้น สำหรับกากมันสำปะหลัง มีปริมาณดังนี้ คือ อะราบิโนส 0.92 เปอร์เซ็นต์ ไซโลส 1.51 เปอร์เซ็นต์ แมนโนส 0.25 เปอร์เซ็นต์ กาแลคโตส 2.46 เปอร์เซ็นต์ และกลูโคส 1.79 เปอร์เซ็นต์ (เสกสม และคณะ, 2550)

โปรตีน

เมื่อเปรียบเทียบกากมันสำปะหลังแห้งกับแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานชนิดอื่น เช่น รำข้าว และข้าวโพด (ตารางที่ 2) พบว่ากากมันสำปะหลังแห้งมีเยื่อใยสูงกว่า แหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานที่ใช้โดยทั่วไป แต่มีโปรตีนต่ำกว่า คือประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ (Preston, 2002) จากการศึกษาปริมาณกรดอะมิโน ทั้งชนิดจำเป็นและไม่จำเป็น จำนวน 20 ชนิด จากตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนมีค่าสัมประสิทธิความแปรปรวนตั้งแต่ 5.99 – 52.68 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดอะมิโนไลซีนมีสัมประสิทธิความแปรปรวนสูงที่สุด แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของโภชนะของกากมันสำปะหลังที่ค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางที่ 1 (วริยา, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

กรดอะมิโน (mg/100g)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					Mean±SD[3]	CV[4] (%)
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]		
อะลานีน	40.78	34.16	40.73	28.92	27.35	33.79±7.24	21.44
อาร์จินีน	128.13	149.72	188.32	145.34	151.78	152.66±22.00	14.41
แอสพาร์ติก	44.95	60.69	43.37	42.05	52.38	48.69±7.81	16.04
ซีสตีน[5]	-	-	-	-	-	-	-
กลูตามิก	141.41	140.65	181.04	142.83	146.92	150.57±17.20	11.43
ไกลซีน	29.03	22.76	24.99	20.60	20.69	23.61±3.52	14.91
ฮิสติดีน	37.64	48.91	78.75	46.56	45.01	51.37±15.87	30.90
ไฮดรอซีไลซีน[5]	-	-	-	-	-	-	-
ไฮดรอซีโพรลีน	21.89	28.16	25.21	21.08	22.82	23.83±2.87	12.05
ไอโซลิวซีน	46.14	59.18	69.57	59.02	38.38	54.46±12.24	22.47
ลิวซีน	127.22	120.65	179.12	130.36	90.29	129.53±31.95	24.67
เมทไธโอนีน	28.28	29.05	33.01	30.86	26.70	29.58±2.43	8.22
เฟนิลอะลานีน	80.76	75.48	110.92	85.28	63.19	83.13±17.60	21.17
โพรลีน	33.11	40.30	40.50	36.75	40.98	38.33±3.37	8.79
เซอลีน	22.38	26.01	23.16	20.89	23.29	23.15±1.86	8.05
ทรีโอนีน	24.30	28.27	27.66	25.68	26.25	26.43±1.58	5.99
ทริปโตเฟน	23.14	24.06	42.48	24.23	23.41	227.46±8.41	30.61
ไทโรซีน	59.64	68.55	94.11	70.74	61.49	70.91±13.78	19.43
วาลีน	36.02	39.81	35.70	31.28	28.01	34.16±4.58	13.40

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก

[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[3]ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

[4]สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

[5]กรดอะมิโนมีปริมาณจำกัดที่เครื่องจะตรวจวัดได้ คือ ซีสตีน และไฮดรอซีไลซีน 20 มิลลิกรัมใน 100 กรัม

ที่มา: วริยา (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	กากมันสำปะหลัง	รำข้าว	ข้าวโพด
วัตถุแห้ง	92.6	93.0	92.5
โปรตีน	2.6	12.1	8.8
ไขมัน	0.2	19.2	2.7
เถ้า	3.8	13.9	2.5
เยื่อใย	6.6	14.6	2
NDF	37.6	30.7	9.7
ADF	9.8	21.7	3.5
ADL	3.9	9.6	1.3

ที่มา: Wisitiporn *et al.* (2006)

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีกและสุกร

กากมันสำปะหลังมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ปีกเฉลี่ยเท่ากับ 2,363 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรอยู่ระหว่าง 2,400–2,600 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (เสกสม และคณะ, 2550) ในขณะที่ข้าวโพดให้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรและสัตว์ปีกเท่ากับ 3,168 และ 3,370 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ปรีดา, 2552) และจากการศึกษาของนารีรัตน์ (2552) พบว่ากากมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรเท่ากับ 2,571 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ค่าความผันแปรของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ การเก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีการสกัดแป้ง เป็นต้น รวมถึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแป้งในกากมันสำปะหลัง นอกจากยังขึ้นกับปัจจัยของตัวสัตว์ เช่น อายุ อัตราการไหลของอาหาร และความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของตัวสัตว์อีกด้วย

จากการศึกษาองค์ประกอบทางโภชนะของตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากภาคต่างๆ ของประเทศไทย ได้แก่เขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 3 โรงงาน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันและมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงในแต่ละภาค (วริยา, 2552) ดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สายพันธุ์ของมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ฤดูการเก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีในอาหารสกัดแป้ง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง จากการสุ่มตัวอย่างจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 โรงงาน

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	A	B	C	D	E
ความชื้น	11.34	10.96	12.93	10.73	11.46
เถ้า	5.73	5.94	5.60	6.53	4.95
ไขมัน	0.50	0.55	0.45	0.18	0.29
โปรตีน	3.42	2.49	2.25	2.44	1.23
เยื่อใย	14.75	14.65	12.12	13.91	14.45
แป้ง	47.97	50.45	54.17	49.41	48.98
แคลเซียม	0.73	1.19	0.79	0.87	0.38
ฟอสฟอรัส	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
พลังงานรวม (kcal/kg)	4003	3511	4012	3564	4174

หมายเหตุ กากมันสำปะหลังโรงงาน A ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
กากมันสำปะหลังโรงงาน B ในเขตภาคตะวันออก
กากมันสำปะหลังโรงงาน C ในเขตภาคตะวันออก
กากมันสำปะหลังโรงงาน D ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
กากมันสำปะหลังโรงงาน E ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: วริยา (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)												ที่มา
	แป้ง	NFE	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NDF	ADF	แคลเซี่ยม	ฟอสฟอรัส	พลังงานรวม (kcal/kg)	ความชื้น	
1	47.97	-	3.42	0.50	14.75	5.73	43.31	32.02	0.73	0.21	4003	11.34	ปรีดา (2552)
2	-	66.33	2.36	0.26	16.06	4.59	-	-	1.11	0.06	4,178	10.40	พรทิมล (2551)
3	-	-	3.17	-	15.24	-	-	-	1.10	0.05	4,108	83.71	กฤติกา (2551)
4	-	-	2.96	1.13	-	16.55	44.70	33.07	-	-	-	9.93	จารุวัลย์ (2550)
5	-	-	1.83	0.48	10.00	3.64	-	-	-	-	-	-	อุทัย (2551)
6	45-50	-	1.83	0.48	10-15	3.64	-	-	-	-	-	11.27	สุกัญญา และ วราพันธุ์ (2550)
7	80.00	-	2.60	0.20	6.60	3.80	-	-	-	-	-	7.40	ปิตุนาถ (2547)
8	81.91	-	1.03	0.62	4.60	1.22	-	-	-	-	-	-	Pinuliar (1993)
9	64.6	-	1.80	0.20	5.00	1.84	-	-	-	-	-	10.00	Lim (1967)

หมายเหตุ NFE = Nitrogen Free Extract

NDF = Neutral Detergent Fiber

ADF = Acid Detergent Fibre

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารพิษจากเชื้อรา

ปริมาณสารพิษจากเชื้อราของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ aflatoxin B1, aflatoxin B2, aflatoxin G1, aflatoxin G2, zearalenone, deoxynivalenol, fumonisin B1, fumonisin B2 และ ochratoxin พบว่า ระดับของ aflatoxin B1, aflatoxin B2, aflatoxin G1 และ aflatoxin G2 มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมระดับ zearalenone มีค่าน้อยกว่า 32 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ระดับ deoxynivalenol มีค่าน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ระดับ fumonisin B1 และ fumonisin B2 มีค่าน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และระดับ ochratoxin มีค่าน้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (เสกสม และคณะ, 2550)

ปริมาณไซยาไนด์

ไซยาไนด์เป็นสารพิษที่พบในพืชกว่า 3,000 ชนิด สำหรับไซยาไนด์ในมันสำปะหลังสร้างขึ้นจากกรดอะมิโน 2 ตัว คือ แวลีน (valine) และไอโซลิวซีน (isoleucine) การสังเคราะห์จากแวลีนจะได้เป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอซิโตนไซยาโนไฮดริน (acetone cyanohydrin) เรียกว่า ลินามาริน (linamarin) และถ้าสังเคราะห์จากไอโซลิวซีนจะได้โลทอสตราลิน (lotaustralin หรือ 2-hydroxy isobutyronitile-β-D-glycoside) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของเมทิลคีโตนไซยาโนไฮดริน (methylethyl ketone cyanohydrins) ในมันสำปะหลังมีลินามาลินอยู่ 93 ส่วนและโลทอสตราลิน 7 ส่วน สารประกอบนี้จะอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช และเมื่อเนื้อเยื่อของพืชถูกทำลาย จะมีการสลายตัวของสารประกอบนี้โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสของน้ำย่อยลินามาเลส (linamarase) และน้ำย่อยออกซีไนตริเลส (oxynitrilase) หรือไฮดรอกซีไนไทรต์ไลเอส (hydroxynitrite lyase) ย่อยสลายจนได้กรดอะมิโนและกรดไฮโดรไซยานิก ซึ่งกลไกดังกล่าวเป็นการป้องกันตนเองของพืชจากการถูกทำลายโดยสัตว์และแมลง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

สำหรับกากมันสำปะหลังถือว่าเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีสารพิษต่ำโดยปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค อยู่ที่ระดับ 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ppb) เท่านั้น (อุทัย, 2551) นอกจากนี้จากการสุ่มตรวจปริมาณไซยาไนด์ในกากมันสำปะหลัง จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 5 โรงงาน พบว่าปริมาณไซยาไนด์ในกากมันสำปะหลังมีอยู่เพียง 4.17 ppm โดยมีสัมประสิทธิความแปรปรวนสูงถึง 166 (วริยา, 2552) ซึ่งปริมาณไซยาไนด์ที่มีในกากมันสำปะหลังนั้นต่ำกว่ามาตรฐานการกำหนดปริมาณไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ให้มีได้ไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ระดับต่ำสุดของกรดไฮโดรไซยานิคที่สามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์ คือ 2.315 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1 กิโลกรัม และถ้าสัตว์ได้รับปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค 4 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จะทำให้เกิดพิษรุนแรงต่อสัตว์ และอาจทำให้สัตว์ตายได้ (กรมปศุสัตว์, 2553) แสดงให้เห็นว่าระดับของไซยาไนด์ในกากมันสำปะหลังนั้น ไม่มีผลก่อให้เกิดอันตรายต่อตัวสัตว์ได้ เนื่องจากว่า การนำมันสำปะหลังไปผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนกากมันสำปะหลังที่ได้จะถูกทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนหรือแสงแดด สามารถลดปริมาณสารไซยาไนด์จากมันสำปะหลังลงได้ มันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะผ่านกรรมวิธีต้มให้เดือดที่อุณหภูมิสูง สามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคที่อยู่ในมันสำปะหลังได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และการทำให้แห้งในกระบวนการขจัดน้ำออก (dehydration) โดยใช้แสงแดด (solar radiation) พบว่าสามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลังได้ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พันธะของไซยาไนด์ซึ่งผลิตกรดไฮโดรไซยานิคนั้นสามารถระเหยออกไปเมื่อได้รับ ความร้อนที่ 28 องศาเซลเซียส (Gomez *et al.,* 1984)

จากคุณค่าทางโภชนะที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า กากมันสำปะหลังมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนกลุ่มของพลังงาน เนื่องจากแป้งที่หลงเหลืออยู่ค่อนข้างมากและมีคุณสมบัติที่ย่อยได้ง่าย เหมาะสำหรับสุกรในระยะเล็ก แต่ในขณะเดียวกันก็มีสัดส่วนของเยื่อใยสูง อีกทั้งมีความแปรปรวนของโภชนะมาก ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้ในสูตรอาหาร

กระบวนการผลิตอาหารผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

วัตถุดิบอาหารหลายชนิดมีลักษณะเป็นฝุ่นมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจของสัตว์ ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลงและพยายามกินน้ำมากขึ้น หรือวัตถุดิบที่มีความฟ่ามสูง มีระดับเยื่อใยสูง ล้วนส่งผลต่อปริมาณการกินของสัตว์ทั้งสิ้น แนวทางในการแก้ปัญหาอย่างหนึ่ง คือ การอัดเม็ดอาหาร การอัดเม็ดอาหารมีการเพิ่มไอน้ำจะช่วยให้อัดเม็ดได้ง่ายขึ้น กระบวนการดังกล่าวนอกจากจะช่วยลดความเป็นฝุ่นและเพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ลดการสูญเสียของอาหารจากการคุ้ยเขี่ยแล้ว ยังช่วยทำให้อาหารสุก ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบอาหาร เพิ่มความน่ากินให้กับอาหาร และเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของแป้ง ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งกับสัตว์ในระยะเล็ก เช่น ลูกสุกร และลูกไก่เป็นอย่างมาก (อุทัย, 2529) นอกจากนี้อาหารอัดเม็ดยังมีแนวโน้มในการส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยได้ของโภชนะและสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะหย่านม เพิ่มขึ้นประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ (ลัดดา, 2549) ส่วนสุกรระยะรุ่น-ขุน การอัดเม็ดอาหารช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตต่อวันประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารขึ้นประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ (Behnke, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประเภทของการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

1. การคลุกไอน้ำชนิดเร็ว (short term conditioning) โดยเวลาที่ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5-15 วินาที ใช้ผลิตอาหารสัตว์บก กำลังการผลิตประมาณ 2-3 ตันต่อชั่วโมง

2. การคลุกไอน้ำอัดเม็ดชนิดช้า (long term conditioning) ใช้เวลาประมาณ 2-4 นาที ผลิตอาหารสุกรอนุบาลและอาหารกุ้ง โดยภายในประกอบด้วยท่อคลุกไอน้ำ 2 ท่อขึ้นไป ซึ่งจะเรียกว่าการคลุกไอน้ำ 2 ชั้น (double pass conditioning)

3. การคลุกไอน้ำอัดเม็ดชนิดความดันสูง (high shear conditioning) หรือเครื่องเอกซ์แพนเดอร์ (annular gap expander) ซึ่งมีการปรับสภาพอาหารผงก่อนเข้าหัวอัดด้วยไอน้ำและความดัน ตัวเครื่องเอกซ์แพนเดอร์จะแยกจากเครื่องอัดเม็ด โดยอาหารผงจะถูกลำเลียงเข้าห้องคลุกไอน้ำแบบปกติ แต่ปลายของห้องคลุกไอน้ำจะมีโคนรูปกรวยที่สามารถปรับความดันได้จากเครื่องควบคุม ความชื้นภายในเครื่องเอ็กซ์แพนเดอร์ ประมาณ 16-18 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 90-130 องศาเซลเซียส และความดันอาจสูงถึง 10 บาร์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแป้งและโปรตีน ให้อยู่ในสภาพที่ย่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับสภาพด้วยเครื่องเอ็กซ์แพนเดอร์ช่วยให้เม็ดอาหารมีคุณภาพ และเพิ่มปริมาณการผลิตต่อชั่วโมงด้วย (ณัฐชนก, 2548)

หลักการทำงานของเครื่องคลุกไอน้ำอัดเม็ด

อาหารที่ผสมเสร็จแล้วมีความชื้นประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ จะต้องมีการปรับสภาพให้อาหารมีความชื้นสูงขึ้นเป็น 16-18 เปอร์เซ็นต์ โดยการเติมไอน้ำ (steam) ลงไปในอาหาร เพื่อเป็นการเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิให้กับอาหาร โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ อนุภาค ทำให้อาหารนิ่มและกระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติ เช่น แป้งและโปรตีน ซึ่งจะส่งผลต่อการเกาะกันของเม็ดอาหาร โดยการยึดเกาะระหว่างอนุภาคในเม็ดอาหารสัตว์ เป็นการยึดกันระหว่างของแข็งและของแข็งที่เกิดจากการทำให้บริเวณภายนอกอนุภาคนิ่มลงด้วยไอน้ำ (ณัฐชนก, 2548)

เครื่องปรับสภาพอาหาร (conditioner) หรือเครื่องคลุกไอน้ำอัดเม็ด ซึ่งโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นท่อกลมหัวท้ายปิด และมีทางให้อาหารเข้าและออกจากกระบอกตรงกลางกระบอกมีเพลาซึ่งมีใบพาย (paddle) ติดอยู่เป็นจำนวนมาก ด้านข้างกระบอกมีจุดที่สามารถเดินไอน้ำเข้ามาผสมกับไอน้ำภายในกระบอก ขณะเครื่องทำงานอาหารจะถูกพาเข้าเครื่องคลุกไอน้ำโดยสกรูป้อนอาหาร (feed

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

screw) เพลาตรงกลางกระบอกจะหมุนทำให้ใบพายพาอาหารเคลื่อนพัดอาหารกระจายเต็มกระบอก ในขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ไปข้างหน้าจนถึงทางออกจากเครื่องคลุกไอน้ำใช้เวลาประมาณ 15-20 วินาที อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 85-90 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเม็ดอาหาร

จากบทวิจารณ์ของ Thomas *et al* (1998) ได้กล่าวถึงความสำคัญและผลของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ต่อคุณภาพของเม็ดอาหาร ทั้งความแข็งของเม็ดอาหาร และความคงทนของเม็ดอาหาร ไว้ว่า คุณภาพของเม็ดอาหารมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด โดยแบ่งวัตถุดิบอาหารออกเป็น 4 ประเภท คือ แป้งและน้ำตาล โปรตีน เยื่อใย และไขมัน ซึ่งวัตถุดิบแต่ละประเภทส่งผลต่อคุณภาพเม็ดอาหารแตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. แป้ง

แป้งและน้ำตาลในสูตรอาหารทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมระหว่างอนุภาคของอาหาร โดยคุณสมบัติการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง โดยเมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนและความชื้นที่เหมาะสม คือ มีอุณหภูมิประมาณ 58-70 องศาเซลเซียส พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ เมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัว และเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของแป้งเปียก (paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อแป้งเย็นตัวลงจะเกิดลักษณะเป็นเจล (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) ปริมาณน้ำหรือความชื้นนั้น มีความสำคัญต่อการเกิดการเจลาติไนส์ของแป้งเป็นอย่างมาก กล่าวคืออย่างน้อยจะต้องมีสัดส่วนของน้ำต่อแป้ง เท่ากับ 1.5:1 จึงจะเกิดการเจลติไนส์ของแป้งที่สมบูรณ์ (Eliasson, 1980; Marchant and Blanshard, 1980 and Wootton and Bamunuarachchi, 1979) ซึ่งระหว่างกระบวนการคลุกไอน้ำและอัดเม็ดอาหาร ความชื้นที่ใช้ในกระบวนการอัดเม็ดอาจไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้ง แต่อาจเกิดบริเวณผิวด้านนอกของเม็ดแป้ง และทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของเม็ดอาหารยังมีผลต่อระดับของการเกิดเจลาติไนซ์ กล่าวคืออนุภาคอาหารที่มีขนาดเล็กจะมีระดับการเกิดเจลาติไนซ์สูงกว่าอนุภาคอาหารขนาดใหญ่ (Medel *et al*, 2000)

อีกปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของเม็ดอาหารคือสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน สัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชนิดแตกต่างกัน โดยเฉพาะอะไมโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อคุณสมบัติดังกล่าว โดยการเคลื่อนของสารพอลิเมอร์ในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเม็ดแป้งที่เป็น semicystalline ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะไมโลเพคติน และส่วนอสัณฐาน (amorphous) ที่ประกอบด้วยอะไมโลส เมื่อเป้งได้รับความร้อนภายใต้สภาวะน้ำที่จำกัด (น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์) จนถึงอุณหภูมิขณะหนึ่งที่ทำให้อะไมโลสเริ่มคลายตัวที่ส่วนอสัณฐานและเคลื่อนตัวไปอยู่ระหว่างเม็ดแป้งทำให้เกิดการยึดเกาะของอนุภาคดีขึ้น ซึ่งสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในข้าวโพดคือ 28:72 และในมันสำปะหลังคือ 17:83 ทำให้อาหารสูตรข้าวโพดเมื่อผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดแล้ว มีความคงทนของเม็ดอาหารมากกว่าอาหารสูตรกากมันสำปะหลัง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550)

2. โปรตีน

โปรตีนในอาหารจะทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมระหว่างอนุภาคของอาหารที่มีขนาดต่างกัน โดยโปรตีนบางส่วน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างและคุณสมบัติทางชีวภาพของโปรตีนจนเสียสภาพธรรมชาติไป (denaturation) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อคุณภาพของเม็ดอาหาร แต่กระบวนการผลิตอาหารที่มีความร้อนสูงเกินไป อาจทำให้เกิดกระบวนการไหม้ (maillard-reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและหมู่อะมิโนของกรดอะมิโน ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตลดลง (Nakai and Powrie, 1981) ดังนั้นจึงต้องหาจุดที่เหมาะสมระหว่างคุณภาพของเม็ดอาหารกับคุณค่าทางโภชนะของอาหารภายหลังกระบวนการผลิต

3. เยื่อใย

ชนิดของเยื่อใยแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความข้นหนืดและส่วนที่ไม่ละลายน้ำ โดยชนิดของเยื่อใยที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพเม็ดอาหารแตกต่างกันออกไป ดังนี้

เยื่อใยชนิดละลายในน้ำ เช่นกลูแคน อะราบิโนไซแลน และเพคติน ทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็ม (filler) ซึ่งเมื่อเกิดความข้นหนืด และส่งผลต่อการจับตัวกันของอาหาร โดยการลดรูพรุนของเม็ดอาหาร ทำให้การจับกันของอนุภาคอาหารดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งและความคงทนของเม็ดอาหารดีขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ปัจจัยระหว่างกระบวนการผลิต เช่น ระยะเวลาการคลุกไอน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความชื้นของอาหาร ความดัน และความร้อน รวมถึงวัตถุดิบอาหารที่เลือกใช้ ล้วนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของเยื่อใยชนิดละลายในน้ำ และคุณภาพเม็ดอาหารที่ได้อีกด้วย

สำหรับเยื่อใยชนิดไม่ละลายในน้ำ มีอิทธิพลค่อนข้างมากต่อคุณภาพเม็ดอาหาร เนื่องจากพบเป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบจากปริมาณเยื่อใยทั้งหมดในอาหาร โดยปกติในระหว่างกระบวนการผลิต เยื่อใยจะเกิดการม้วนพับของโครงสร้างเข้ากับอนุภาคอื่นๆ หรือเกิดลักษณะเป็นเกลียว แต่เยื่อใยประเภทนี้มีความยืดหยุ่น ซึ่งจะต้านการจับตัวกันของเยื่อใยในอาหาร ทำให้เกิดจุดที่เปราะในเม็ดของอาหาร เม็ดอาหารแตกหักได้ง่าย แนวทางแก้ไขคือการเพิ่มระยะเวลาในการคลุกไอน้ำอัดเม็ดจะช่วยลดผลกระทบของเยื่อใยประเภทนี้ลงได้ นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และยูเรีย หรือแม้แต่น้ำมีผลต่อความยืดหยุ่นของเยื่อใยด้วย โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะแยกลิกนินกับเซลลูโลสออกจากกัน ทำให้ลดความแข็งของเยื่อใยในเม็ดอาหารลง และความคงทนของเม็ดอาหารเพิ่มขึ้น

4. ไขมัน

การเติมไขมันนั้นจะส่งผลในเชิงลบต่อคุณภาพเม็ดอาหาร ทั้งความแข็งและความคงทนของเม็ดอาหาร โดยการจับกันของอนุภาคในอาหารต้องอาศัยน้ำ รวมถึงสารเชื่อมต่างๆ เช่น แป้ง โปรตีน และเยื่อใย แต่ด้วยคุณสมบัติของไขมันที่เป็นสารไม่มีขั้วและไม่ละลายในน้ำ (hydrophobic) ซึ่งจะรบกวนการจับตัวกันขององค์ประกอบที่ละลายน้ำต่างๆ นอกจากนี้ไขมันยังทำหน้าที่เป็นสารเคลือบระหว่างอนุภาคของอาหารและระหว่างอาหารกับพื้นผิวของดายร์ขณะอัดเม็ด ซึ่งมีข้อดีคือช่วยลดการเสียดสีขณะรีดอาหารผ่านรูดายร์ แต่การเคลือบอนุภาคของอาหารนั้น จะทำให้คุณภาพเม็ดเลวลง และอาจรบกวนการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร เช่น ขัดขวางกระบวนการเจลาติไนซ์ของแป้ง เปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหารเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติมน้ำมันในอาหารมากขึ้น (Salmon, 1985) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมาจากคุณภาพเม็ดอาหารที่เลวลง

ผลของการคลุกไอน้ำอัดเม็ดต่อคุณภาพเม็ดอาหารและการย่อยได้ของสารอาหารในสุกร

อาหารผงที่ผสมเสร็จแล้วจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องคลุกไอน้ำอัดเม็ด ความร้อนและความชื้นจากไอน้ำจะทำให้อาหารมีอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิคลุกไอน้ำจะแตกต่างกันไปตามสูตรอาหารและวัตถุดิบที่ใช้ เช่น อาหารสุกรระยะอนุบาลใช้อุณหภูมิประมาณ 55-65 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากนม ซึ่งไหม้ได้ง่าย ส่วนอาหารสุกรรุ่น-ขุน ใช้อุณหภูมิประมาณ 70-90 องศาเซลเซียส เป็นต้น (ณัฐชนกและปฐมา, 2547)

ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเม็ดอาหาร คือ สูตรอาหาร ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพเม็ดอาหารถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (Behnke, 2001) โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ในสูตรอาหาร ได้แก่ แป้ง ซึ่งประกอบด้วย อะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดยสัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน แป้งในวัตถุดิบจะทำหน้าที่เป็นสารยึด (binding agent) ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพเม็ดอาหารสัตว์ที่ผลิต โดยเฉพาะอะไมโลสที่มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งกากมันสำปะหลังมีอยู่ประมาณ 16-17เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อะไมโลแพคติน (amylopectin) มีอยู่ประมาณ 83-84 เปอร์เซ็นต์ (ลัดดา, 2549; Chauynarong *et al*, 2009) ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ อุณหภูมิขณะคลุกไอน้ำอยู่ระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่าง 15-18 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ 59-69 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืชโดยทั่วไป (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) ภายใต้สภาวะนี้ อะไมโลสจะเกิดการคลายตัวออกจากส่วนอสัญฐาน และเคลื่อนไปอยู่ระหว่างเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการยึดเกาะของอนุภาคดีขึ้น ส่งผลให้เม็ดอาหารมีความคงทนมากขึ้น สำหรับอาหารสุกรอนุบาลนั้น ค่าความคงทนของเม็ดอาหารควรมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (Mavromichalis, 2006)

นอกจากนี้อุณหภูมิและความชื้นระหว่างกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในกากมันสำปะหลัง โดยจากการศึกษาการอัดเม็ดสูตรอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวโพดและมันสำปะหลังในสูตรอาหาร โดยใช้มันสำปะหลังที่ระดับ 0 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ระดับโปรตีนที่ 22 เปอร์เซ็นต์ ณ อุณหภูมิคลุกไอน้ำที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 9-11 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อระดับมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่ต้านทานการย่อยจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะคลุกไอน้ำจาก 70 องศาเซลเซียส เป็น 80 องศาเซลเซียส การเจลาติไนซ์ของแป้งจะลดลง และมีแป้งที่ต้านทานการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ณัฐชนก และ ปฐมา, 2547)

ในทางโภชนะ แป้งที่เกิดการเจลาติไนซ์จะช่วยทำให้เอ็นไซม์ในร่างกายสัตว์เข้าย่อยเม็ดแป้งได้ง่ายขึ้น ช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งได้ดีขึ้น (ณัฐชนก และ ปฐมา, 2547) ซึ่งเป็นผลดีกับตัวสัตว์เป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวสัตว์จะเกิดความเครียดจากการย่อยอาหารน้อยลง อีกทั้งแป้งที่ย่อยเร็ว จะช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์กับร่างกาย (non-pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหาร และส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ก่อโรคต่อร่างกาย (pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหารให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลดลง โดยไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะควบคุมเชื้อโรค และลดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ได้อีกด้วย (ลัดดา, 2549) นอกจากนี้อาหารลูกสุกระยะอนุบาลที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตต่อวันและประสิทธิภาพการใช้อาหารประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ (Behnke, 2001)

การอัดเม็ดอาหารมีผลดีในด้านเพิ่มการย่อยได้ของสารอาหารและลดการสูญเสียของอาหาร นอกจากนี้ขนาดเม็ดอาหารยังมีผลต่อด้วย โดยเม็ดอาหารที่มีขนาดเล็กมีความเหมาะสมสำหรับสุกรระยะอนุบาลมากกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากง่ายต่อการกิน (Heugten, 2010) จากรายงานของ Edge *et al* (2005) ลูกสุกรหลังหย่านมที่ได้รับอาหารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร มีปริมาณอาหารที่กินต่อวันน้อยกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.8 และ 2.4 มิลลิเมตร แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม ซึ่งอาจเป็นเพราะอาหารมีโอกาสตกหล่นน้อยกว่า

การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกร

การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรระยะอนุบาล ซึ่งรายงานโดยวริยา (2552) พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังผสมในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้สูงถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ในรูปอาหารผงโดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตายของสุกร โดยใช้ระดับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารสุกรระยะอนุบาลในรูปของอาหารผง พบว่าสุกรมีปริมาณอาหารที่กินต่อวันเท่ากับ 684.6 662.7 659.0 และ 653.9 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เท่ากับ 375.6 360.1 361.3 และ 353.5 กรัมต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร เท่ากับ 1.82 1.84 1.83 และ 1.85 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมัก เป็นแหล่งของสารเสริมชีวนะสำหรับลูกสุกรหย่านม และเพื่อแก้ปัญหากรณีกากมันสำปะหลังที่มีความชื้นสูง คือประมาณ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การเก็บรักษาและคุณภาพของกากมันสำปะหลังไม่ดี เกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยวได้ง่าย โดยพบว่ากากมันสำปะหลังสดมีแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคและยีสต์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่เป็นประโยชน์กับตัวสัตว์ และเมื่อหมักกากมันสำปะหลังเป็นเวลา 3 วันในสภาวะไร้ออกซิเจน ส่งผลทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติค และยีสต์เพิ่มสูงขึ้น สามารถใช้เป็นแหล่งของสารเสริมชีวนะให้กับสุกร ทั้งการเสริมกากมันสำปะหลังหมักยังไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต ช่วยเรื่องของสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร กระตุ้นการเจริญและการสร้างเซลล์ของวิลไลและคริปท์ใหม่ ส่งผลให้สุกรมีสุขภาพที่แข็งแรง และลดอัตราการตายของลูกสุกรระยะอนุบาลลงได้ (กฤติกา, 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุนนั้น จากรายงานของสุกัญญา (2546) โดยศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ในสุกรระยะรุ่น-ขุน ต่อการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของสุกรรุ่น-ขุน พบว่าการย่อยได้ของสุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าสุกรที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 85.54 81.75 82.19 และ 83.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการย่อยได้ของโปรตีนเท่ากับ 86.34 82.25 83.03 และ 84.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์มีการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใยต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของพลังงาน การเก็บกักโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 4 กลุ่ม และจากการศึกษาสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักอวัยวะภายในส่วนของลำไส้ใหญ่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกด้วย ($P<0.05$)

พรทิมล (2551) ได้ทำการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรระยะเล็กน้ำหนัก 30 กิโลกรัม และระยะรุ่นน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ในรูปของอาหารผง ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร พบว่า ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน เยื่อใย และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังในสุกรเล็ก เท่ากับ 70.96 64.45 62.71 เปอร์เซ็นต์ และ 2,553 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในสุกรระยะรุ่น เท่ากับ 72.83 69.63 65.97 เปอร์เซ็นต์ และ 2,767 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อศึกษาถึงผลการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากสุกร พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในระดับ 20 30 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน ทำให้ปริมาณการกินอาหารต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และคุณภาพซากของสุกร แตกต่างกับกลุ่มสุกรที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทางด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจพบว่าสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงกลุ่มสุกรดังกล่าวมีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง เท่ากับ 0.56 0.34 และ 0.39 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังเท่ากับ 0.84 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นสามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากสุกร อีกทั้งยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากรายงานการศึกษาของนารีรัตน์ (2552) พบว่าการเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีปริมาณการกินได้เฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง (P=0.1453) คือเท่ากับ 2,656 2,585 2,560 และ 2,460 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และส่งผลให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีแนวโน้มลดลง (P=0.0596) คือเท่ากับ 719.8 710.4 684.9 และ 680.4 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการใช้อาหารมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 3.69 3.64 3.72 และ 3.70 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาคุณภาพซากพบว่าระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารส่งผลให้ความหนาไขมันสันหลังมีแนวโน้มลดลงและเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงมีแนวโน้มสูงขึ้น (P=0.0704 และ P=0.0606 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามจากการทดลองสรุปผลว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่นและขุนได้สูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับระดับเยื่อใยรวมในอาหาร

สำหรับการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบชนิดอื่นเช่น กากตะกอนเบียร์ ทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสุกรรุ่น-ขุน สามารถใช้ทดแทนได้สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพซากของสุกรแต่อย่างใด (เอกณรินทร์, 2550)

จากการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนรำละเอียดในอาหารแม่สุกรอุ้มท้องและแม่สุกรระยะเลี้ยงลูก เปรียบเทียบกับอาหารควบคุมที่ใช้ปลายข้าว รำละเอียด กากถั่วเหลืองเป็นหลัก พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังทดแทนรำละเอียดได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการสืบพันธุ์และสมรรถภาพการผลิตของแม่สุกรทั้งในระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก (อุทัย และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตามการพิจารณาใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์นั้น ขึ้นอยู่กับราคาและสถานการณ์ของแหล่งวัตถุดิบโปรตีนและพลังงานอื่น เนื่องจากในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังนั้น จะต้องเสริมด้วยโปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินในระดับสูงกว่าสูตรอาหารที่มีธัญพืชเป็นวัตถุดิบหลัก (Attamangkune, 2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้ ได้แบ่งออกเป็นการวิจัยย่อยจำนวน 3 การทดลอง กล่าวคือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด และคุณภาพของเม็ดอาหาร

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสุกรระยะอนุบาล

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

โดยแต่ละการทดลองมีรายละเอียดวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด และคุณภาพของเม็ดอาหาร

สมมติฐานการทดลอง

การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารระยะอนุบาล ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ดเพิ่มขึ้น และได้คุณภาพเม็ดอาหารที่ดีขึ้น

อุปกรณ์การทดลอง

1. วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารได้แก่ กากมันสำปะหลัง และวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. อุปกรณ์สำหรับผสมอาหารสัตว์ ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ เครื่องบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ เครื่องผสมอาหารสัตว์ เป็นต้น

3. เครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ รุ่น SZLH40, Jiang Zhenghang, China เป็นเครื่องคลุกไอน้ำชนิดเร็ว (short term conditioning) ขนาด 125 แรงม้า

4. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโภชนะของอาหารทดลอง ตามวิธี A.O.A.C. (1990)

5. เทอร์โมมิเตอร์

6. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

7. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ถุงพลาสติก ปากกาเคมี

8. อุปกรณ์ที่ใช้วัดคุณภาพเม็ดอาหาร ได้แก่

8.1 Kahl hardness tester (Model 21465, Reinbek, Germany) สำหรับวัดค่าความแข็งของเม็ดอาหาร

8.2 เครื่องวัดความคงทนของเม็ดอาหาร (Flender Himmel) รุ่น Z38 และตะแกรงร่อนฝุ่น No.10

วิธีการทดลอง

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 สูตร โดยแต่ละสูตรมีระดับโภชนะตรงตามความต้องการของลูกสุกรอนุบาล (ตารางที่ 5) อาหารทุกสูตรผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยควบคุมสภาวะการผลิต โดยใช้เครื่องอัดเม็ดเครื่องเดียวกัน คือเครื่องอัดเม็ดรุ่น SZLH40 ของบริษัท Jiang Zhenghang ประเทศจีน ขนาด 125 แรงม้า ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดันไอน้ำขณะคลุกไอน้ำ 2 บาร์ อุณหภูมิคลุกไอน้ำอยู่ที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นรีดผ่านจานอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ความหนาของจานอัด 50 มิลลิเมตร ลดอุณหภูมิและความชื้นผ่าน cooler ก่อนการบรรจุกระสอบ โดยสูตรอาหารทั้ง 2 สูตร ได้แก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. สูตรอาหารสุกรที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง (สูตรควบคุม)
2. สูตรอาหารสุกรที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์

การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล

เมื่อสภาวะการผลิตคงที่ สุ่มเก็บตัวอย่างได้แก่ อาหารผงเย็น อาหารผงร้อน อาหารเม็ดร้อน และอาหารเม็ดเย็นเพื่อวัดความชื้น วัดอุณหภูมิเฉพาะอาหารเม็ดร้อน และอาหารผงร้อนเท่านั้น โดยการสุ่ม 3 ครั้งแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย สำหรับอาหารเม็ดเย็น (เก็บก่อนบรรจุลงกระสอบ) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร ได้แก่ความแข็งของเม็ดอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหาร และองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองแต่ละสูตร บันทึกข้อมูลระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ได้แก่ อุณหภูมิคลุกไอน้ำ ความดันระหว่างคลุกไอน้ำ ปริมาณการผลิตต่อชั่วโมง กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาการอัดเม็ด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพลังงานการอัดเม็ด โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ค่าพลังงานการอัดเม็ด (kWh/ton)} = \frac{\text{Amp x 380 x 0.8 x 0.8 x 1.732}}{\text{Ton/hr x 1,000}}$$

เมื่อ Amp = ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเม็ด (วัตต์)
380 = ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (380 โวลต์)
Ton/hour = ค่ากำลังการผลิตอาหารอัดเม็ด

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.1 วิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร ได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหารด้วย Kahl hardness tester (Model 21465, Reinbek, Germany) และวัดความคงทนของเม็ดอาหาร (pellet durability index; PDI) ด้วยวิธีมาตรฐานของ ASAE Standard S269.3 (1987) และความหนาแน่นของอาหาร

4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง ได้แก่ ความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซี่ยม ฟอสฟอรัส ด้วยวิธี proximate analysis (A.O.A.C., 1990) และวิเคราะห์พลังงาน ด้วย bomb calorimeter

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 ตัวอย่างกากมันสำปะหลัง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโภชนะของอาหารทดลอง ได้แก่ ความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซี่ยม และฟอสฟอรัส ด้วยวิธี proximate analysis (A.O.A.C., 1990) วิเคราะห์ค่า ADF และ NDF ด้วยวิธี Van Soest analysis วิเคราะห์พลังงาน ด้วย bomb calorimeter และวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยวิธี polarimetric method

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่จากการบันทึกได้แก่ อุณหภูมิของอาหารผงร้อนและอาหารเม็ดร้อน ความชื้นของอาหารผงเย็น อาหารผงร้อน อาหารเม็ดเย็น และอาหารเม็ดร้อน ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ด ความแข็งของเม็ดอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหาร (ความคงทนมาตรฐานและความคงทนดัดแปร) และความหนาแน่นของอาหารทดลอง มาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Student's t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรระยะอนุบาล อายุ 5-8 สัปดาห์

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ (เปอร์เซ็นต์)	
	0	10
ข้าวโพดบด	32.4	32.0
กากมันสำปะหลัง	0	10.0
กากถั่วเหลือง, 44 เปอร์เซ็นต์	15.0	15.9
ปลายข้าวไฮโดรไลซ์ (Newtex)	13.3	13.3
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.0	10.0
กากถั่วเหลืองหมัก (Bio Pro 480)	8.0	10.6
รำละเอียด	6.7	-
รำข้าวสาลี	6.7	-
เนื้อและกระดูกหมูป่น	4.0	4.0
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	0.8	1.0
หินฝุ่น	0.6	0.5
เกลือ	0.2	0.2
กากน้ำตาล	1.3	1.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ (เปอร์เซ็นต์)	
	0	10
แอล-ไลซีน	0.1	0.1
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.03	0.008
สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ [1]	0.2	0.2
รวม	100.0	100.0
องค์ประกอบทางโภชนะ		
โปรตีน	22.00	22.00
เยื่อใย	4.03	4.00
ไขมัน	5.63	4.56
เถ้า	6.17	5.99
ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	3400	3400
ไลซีน	1.30	1.30
เมทไธโอนีน	0.365	0.36
เมทไธโอนีน + ซีสทีน	0.72	0.72
ทรีโอนีน	0.83	0.84
ทริปโตเฟน	0.26	0.26
แคลเซียม	0.93	0.97
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.79	0.69
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45

หมายเหตุ สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามินเอ 4.00 ล้านหน่วยสากล วิตามีนดี 0.4 ล้านหน่วยสากล วิตามินอี 15,000 หน่วยสากล วิตามินเค 1 กรัม วิตามินบี 1 0.5 กรัม วิตามินบี 2 2.0 กรัม วิตามินบี 6 1.0 กรัม วิตามินบี 12 0.01 กรัม กรดแพนโททีนิค 6 กรัม ไนอาซิน 12 กรัม ไบโอติน 0.08 กรัม ซีลิเนียม 0.1 กรัม ธาตุเหล็ก 40 กรัม แมงกานีส 7.5 กรัม สังกะสี 40 กรัม ทองแดง 2.5 กรัมและไอโอดีน 0.5 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะอนุบาล

สมมติฐานการทดลอง

อาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด จะทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

อุปกรณ์การทดลอง

1. โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกร (โรงเรือนระบบเปิด)
2. กรงที่ใช้ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (metabolic cage)
3. โครมิกออกไซด์
4. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ
5. กรดซัลฟุริค (H_2SO_4) ความเข้มข้น 6N
6. กระดาษลิสมัสสีแดง
7. ตู้แช่แข็ง สำหรับเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้สุกรระยะอนุบาลลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดูรอค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรช) อายุ 5 สัปดาห์ จำนวนทั้งสิ้น 24 ตัว ไม่มีการแยกเพศ น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 7.3 กิโลกรัม แบ่งสุกรออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มการทดลองมี 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว สุ่มลูกสุกรแต่ละตัวแยกเลี้ยงเดี่ยวในกรงที่ใช้ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (metabolic cage) โดยมีการให้น้ำและอาหารตลอดเวลา (ภาพที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 3 กรงเมทาบอลิคที่ใช้ในการศึกษาค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

อาหารทดลองและการให้อาหาร

สุกรแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารทดลอง โดยให้สุกรกินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) โดยระยะ 7 วันแรกของการทดลอง จะไม่มีการเก็บข้อมูล เพื่อให้สัตว์เกิดความคุ้นเคยกับกรงและอาหาร หลังจากนั้นให้อาหารทดลองที่เสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหาร โดยคลุกโครมิกออกไซด์กับอาหารอัดเม็ดก่อนนำไปให้สุกร เป็นระยะเวลา 3 วัน เริ่มเก็บข้อมูลเมื่อมูลสุกรมีสีเขียวของโครมิกออกไซด์ออกสม่ำเสมอ และสิ้นสุดการเก็บเมื่อสีเขียวของโครมิกออกไซด์หมดไป (ประมาณ 3-4 วัน)โดยสุกรจะได้รับอาหาร 2 สูตร (จากการทดลองที่ 1) ดังนี้

1. สูตรอาหารสุกรที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด (สูตรควบคุม)

2. อาหารสุกรที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล

การเก็บตัวอย่างใช้วิธี total collection หลังจากให้อาหารที่ผสมโครมิกออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้เริ่มเก็บมูลโดยดูจากความสม่ำเสมอของสีเขียวของโครมิกออกไซด์ บันทึกปริมาณอาหารที่สุกรกิน ชั่งน้ำหนักมูลและวัดปริมาตรปัสสาวะที่เก็บได้ทั้งหมดในแต่ละวัน จากนั้นสุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวอย่างมูลตัวละ 100 กรัมและตัวอย่างปัสสาวะตัวละ 100 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรดในมูลและปัสสาวะให้เป็นกรด โดยการเติมกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) 6 N ตรวจสอบด้วยกระดาษลิสมัต (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4) เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจนไปในรูปของแอมโมเนีย จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างมูลและปัสสาวะในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิประมาณ -4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุกวันจนกว่ามูลจะหมดสีเขียว จากนั้นนำมูลมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งและบดละเอียด ผสมมูลทั้งหมดเข้าด้วยกัน ลดปริมาณตัวอย่างลงเหลือ 150 กรัม ส่วนปัสสาวะทั้งหมดในแต่ละวันผสมให้เข้ากัน สุ่มตัวอย่างปัสสาวะ 150 มิลลิลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส รอการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. วิเคราะห์ตัวอย่างมูลและปัสสาวะเพื่อหาปริมาณวัตถุแห้ง พลังงาน และโปรตีน ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

2. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง พลังงาน และโปรตีน โดยใช้สูตร (อังคณา และดวงสมร, 2532) ดังนี้

$$\text{การใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง (\%)} = \frac{\text{(วัตถุแห้งของอาหารที่กิน-วัตถุแห้งในมูล-วัตถุแห้งในปัสสาวะ) x 100}}{\text{วัตถุแห้งของอาหารที่กิน}}$$

$$\text{การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (\%)} = \frac{\text{(โปรตีนของอาหารที่กิน-โปรตีนในมูล-โปรตีนในปัสสาวะ) x 100}}{\text{โปรตีนของอาหารที่กิน}}$$

$$\text{การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน (\%)} = \frac{\text{(พลังงานของอาหารที่กิน-พลังงานในมูล-พลังงานในปัสสาวะ) x 100}}{\text{พลังงานของอาหารที่กิน}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่จากการบันทึกได้แก่ การใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานรวมมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Student's t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 3

ศึกษาผลของสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

สมมติฐานการทดลอง

อาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด จะทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาลดีขึ้น

อุปกรณ์การทดลอง

1. โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกร เป็นโรงเรือนระบบปิด แบ่งออกเป็นห้อง ๆ แต่ละห้องมีคอกย่อยขนาด 1.5 x 2 เมตร จำนวน 8 คอก แต่ละคอกเลี้ยงสุกรจำนวน 8 ตัว (ดังภาพที่ 4-6)

2. เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. อุปกรณ์สำหรับให้อาหาร

ภาพที่ 4 แสดงสภาพภายนอกของโรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 5 แสดงภายในห้องที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 6 แสดงลักษณะคอกสุกรที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรสายพันธุ์ลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดูรอค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรช) จำนวน 128 ตัว ไม่มีการแยกเพศ อายุ 4 สัปดาห์ น้ำหนักเริ่มต้น 7.2 กิโลกรัม แบ่งสุกรออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 8 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว เลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ โดยชั่งอาหารเพื่อบันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ ลูกสุกรทุกตัวได้รับวัคซีนมัยโคพลาสม่า ที่อายุ 5 สัปดาห์ และวัคซีนอหิวาห์สุกร ที่อายุ 6 สัปดาห์

อาหารทดลองและการให้อาหาร

สุกรทุกกลุ่มจะได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 สูตร (จากการทดลองที่ 1) ดังนี้

1. สูตรอาหารสุกรที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด (สูตรควบคุม)

2. อาหารสุกรที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล

เลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยชั่งอาหารที่สุกรกินทุกสัปดาห์ และชั่งน้ำหนักสุกรจำนวน 2 ครั้ง คือเมื่อเข้าทดลองและเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง บันทึกข้อมูลเพื่อคำนวณสมรรถภาพการผลิตของสุกรดังนี้

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้} - \text{ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{(\text{จำนวนสุกรทั้งหมด} \times \text{จำนวนวันที่เลี้ยง})}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed Conversion Ratio)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กิโลกรัม)}}$$

$$\text{อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนสุกรที่ตาย x 100}}{\text{จำนวนสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่บันทึกจากการทดลอง ได้แก่ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองโดยวิธีการ Student's t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

สถานที่ทำการทดลอง

1. ผลิตอาหารทดลอง ณ บริษัท ไบโอ-เจน ฟีดมิลล์ จำกัด อ. เมือง จ. ลำพูน

2. ทดลองสมรรถภาพของสุกรระยะอนุบาล และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ณ ไบโอ-เจน ฟาร์ม อ. เมือง จ.ลำพูน

3. วิเคราะห์โภชนะของอาหารทดลอง มูลและปัสสาวะ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

4. วิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร ณ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

ระยะเวลาทำการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เริ่มตั้งแต่	ตุลาคม 2552
สิ้นสุดการทดลอง	กุมภาพันธ์ 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำ การอัดเม็ด และคุณภาพของเม็ดอาหาร

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า พลังงานรวม แคลเซียม และฟอสฟอรัส ของกากมันสำปะหลังและอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ ความหนาแน่นของกากมันสำปะหลัง และองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

	กากมันสำปะหลัง	ระดับกากมันสำปะหลังในอาหาร	
		0%	10 %
ความชื้น	9.41	9.46	9.45
แป้ง	39.31	-	-
โปรตีน	1.75	21.70	21.68
ไขมัน	0.29	5.10	4.31
เยื่อใย	16.10	4.20	3.53
NDF	31.33	-	-
ADF	25.98	-	-
เถ้า	4.41	6.51	6.38
แคลเซียม	1.26	1.37	1.33
ฟอสฟอรัส	0.05	0.57	0.63
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	4,347	4,447	4,736

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลของกากมันสำปะหลังต่ออุณหภูมิ ความชื้นของอาหารในระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ค่าพลังงานการอัดเม็ด และคุณภาพของเม็ดอาหาร

	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		P –value
	0	10	
อุณหภูมิระหว่างกระบวนการผลิต (°C)			
อาหารผงร้อน	72.4	72.4	-
อาหารเม็ดร้อน	79.2	80.8	-
อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป	6.8	8.4	
ความชื้นระหว่างกระบวนการผลิต (เปอร์เซ็นต์)			
อาหารผงเย็น	10.48	10.16	-
อาหารผงร้อน	12.31	11.23	-
ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป	1.83	1.07	-
อาหารเม็ดร้อน	12.26	11.40	-
อาหารเม็ดเย็น	10.14	10.05	-
อัตราการผลิต (ตันต่อชั่วโมง)	3.00	2.14	-
ค่าพลังงานการอัดเม็ด (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน)	11.3 ± 0.1[a]	16.1 ± 0.2[b]	<0.0001
ความหนาแน่นของอาหาร (กรัมต่อลิตร)	884.8 ± 29.5	856.2 ± 13.8	0.2451
คุณภาพของเม็ดอาหาร			
ค่าความแข็งของเม็ดอาหาร (Kg_{force})	12.2 ± 0.1	12.2 ± 0.1	0.7014
ค่าความคงทนของเม็ดอาหาร (เปอร์เซ็นต์)			
ความคงทนมาตรฐาน	96.2 ± 0.1	96.1 ± 0.2	0.7090
ความคงทนดัดแปร [ก]	91.0 ± 0.4	91.5 ± 0.4	0.4700

[a, b] อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ

- หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

[ก] ใส่น็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ หรือ 1.27 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวลงในกล่องเพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเสริมกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหาร การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้นกากมันสำปะหลังทำให้อาหารโดยรวมมีความหนาแน่นต่ำลงเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีความหนาแน่นต่ำ จากการสุ่มตัวอย่างกากมันสำปะหลังพบว่ามีความหนาแน่นเฉลี่ย 372 กรัมต่อลิตร สอดคล้องกับ Jordan (1983) ที่กล่าวว่ากากมันสำปะหลังที่ตากแห้งจะมีลักษณะฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ และการทดลองของวริยา (2552) ซึ่งพบว่ากากมันสำปะหลังมีความหนาแน่นเพียง 365 กรัมต่อลิตรเท่านั้น ทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบมีค่าความหนาแน่นลดลง นอกจากซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น คือ ขนาด รูปร่าง และการอัดตัวของวัตถุดิบ (ณัฐชนก, 2548) ซึ่งกากมันสำปะหลังถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (436.29 ไมครอน) และมีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดบด จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง (ปรีดา, 2552) ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องอัดเม็ดอาหารเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของอาหารให้มากขึ้น

จากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นระหว่างกระบวนการผลิต (ตารางที่ 7) พบว่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของอาหารก่อนและหลังกระบวนการคลุกไอน้ำในอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าสูตรควบคุม (1.07 และ 1.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และเมื่ออาหารผ่านกระบวนการลดความร้อนและความชื้น ความชื้นของอาหารสูตรควบคุมและสูตรกากมันสำปะหลังใกล้เคียงกัน (10.14 และ 10.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งไม่เกินมาตรฐานความชื้นที่ควบคุมในอาหารสุกรหย่านม-น้ำหนัก 15 กิโลกรัมของกรมปศุสัตว์ ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ (กรมปศุสัตว์, 2553) สำหรับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างอาหารก่อนการอัดเม็ดและอาหารหลังการอัดเม็ดในสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าสูตรควบคุม (8.4 และ 6.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ทั้งนี้อาหารสูตรกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นภายหลังกระบวนคลุกไอน้ำต่ำกว่าสูตรควบคุม ส่งผลให้การขึ้นรูปอาหารทำได้ยาก และเกิดความร้อนจากการเสียดสีระหว่างอาหารและจานอัดมากขึ้น โดยอุณหภูมิอาหารภายหลังกระบวนการอัดเม็ดของอาหารสูตรกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ สูงถึง 80.8 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิภายหลังกระบวนการอัดเม็ดของสูตรควบคุม เท่ากับ 79.2 องศาเซลเซียส เท่านั้น

เนื่องจากอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ อัดขึ้นรูปได้ยาก ทำให้อัตราการผลิตต่อชั่วโมงต่ำกว่าสูตรควบคุม (2.14 และ 3.00 ตันต่อชั่วโมง ตามลำดับ) และต้องใช้พลังงานกลจากมอเตอร์ในการอัดขึ้นรูปเม็ดอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ค่าพลังงานการอัดเม็ดของอาหารสูตรที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (16.1 และ 11.3 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาคุณภาพของเม็ดอาหาร ได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหารและความคงทนเม็ดอาหาร (ตารางที่ 7) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของคุณภาพเม็ดอาหารระหว่างสูตรควบคุม และสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความแข็งของเม็ดอาหารสูตรควบคุมและสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 12.2 และ 12.2 Kg_{force} ตามลำดับ ด้านความคงทนของเม็ดอาหารมาตรฐานและความคงทนดัดแปรระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งค่าความคงทนมาตรฐาน และค่าความคงทนดัดแปร โดยที่ค่าความคงทนมาตรฐานของอาหารสูตรควบคุม และสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 96.2 และ 96.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าความคงทนดัดแปรของสูตรควบคุมและสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 91.0 และ 91.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ความชื้นของอาหารผงหลังคลุกไอน้ำนั้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของเม็ดอาหาร ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตอาหาร ลดเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหาร เพิ่มความแข็งของเม็ดอาหาร และมีความสำคัญต่อการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งในอาหาร โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความชื้นของอาหารผงระหว่างการคลุกไอน้ำ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของไอน้ำ ระยะเวลาในการคลุกไอน้ำ ประเภทของเครื่องคลุกไอน้ำ และความชื้นของอาหารผงก่อนการคลุกไอน้ำ (Johnston *et al*, 1999; Gilpin *et al*, 2002; Moritz *et al*, 2002) ซึ่งจากผลการศึกษาเปรียบเทียบสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีการคลุกไอน้ำอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส กับสูตรควบคุมซึ่งไม่มีการคลุกไอน้ำ (อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส) พบว่ากำลังการผลิตและคุณภาพเม็ดอาหารของอาหารของสูตรอาหารที่มีการคลุกไอน้ำอัดเม็ดดีกว่าสูตรควบคุมซึ่งไม่มีการคลุกไอน้ำ ตามลำดับ นอกจากนี้การคลุกไอน้ำยังช่วยลดความร้อนจากการเสียดสีระหว่างอาหารและจานอัดในกระบวนการอัดเม็ดอีกด้วย (Skoch *et al*, 1981) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gilfin *et al* (2002) ซึ่งศึกษาผลของความชื้นของอาหารผง (12 และ 14 เปอร์เซ็นต์) ระยะเวลาการคลุกไอน้ำ (แบบสั้นและแบบยาว) และคุณภาพของไอน้ำ (70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์) ต่อคุณภาพของเม็ดอาหาร พบว่า อาหารที่มีคุณภาพเม็ดที่ดีที่สุด คือ ความคงทนของเม็ดอาหาร เท่ากับ 88 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการคลุกไอน้ำและคุณภาพของไอน้ำ คือ คุณภาพไอน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์-ระยะเวลาคลุกไอน้ำแบบสั้น และคุณภาพไอน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาคลุกไอน้ำยาว ที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่าระยะเวลาการคลุกไอน้ำแบบยาวจะช่วยลดค่าพลังงาน (energy consumption; kWh/ton) ลงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันของอาหาร จะเป็นผลมากจากคุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบของสูตรอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญต่อคุณภาพเม็ดอาหารได้แก่ เยื่อใยและแป้ง กล่าวคือ วัตถุดิบที่มาจากพืชมีปริมาณเยื่อใยที่ละลายน้ำสูง ทำให้มีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำและการพองตัวสูง (Serena and Bach-Knudsen, 2007) นอกจากนี้ จากการทดลองของ Bach-Knudsen (1997) พบว่าข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้มากกว่าข้าวโพด ทำให้อาหารสูตรข้าวบาร์เลย์มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าอาหารสูตรข้าวโพด

สำหรับแนวทางการจัดการเพื่อลดค่าพลังงานการอัดเม็ด สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การใช้ไขมันในสูตรอาหาร โดย Thomas *et al* (1998) รายงานว่า ไขมันจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตอาหารของโรงงานได้ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติการเป็นสารหล่อลื่นของไขมัน ซึ่งช่วยลดการเสียดสีของอาหารและผิวของจานอัด แหล่งของไขมันอาจมาจากการเติมในรูปของน้ำมัน หรือเป็นไขมันที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบก็ได้ ดังแสดงในงานทดลองของ Richardson and Day (1976) ซึ่งได้ทดลองเติมไขมันในอาหารไก่เนื้อ เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์ฝุ่น พลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไขมันที่เติมในระดับ 10 20 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร พบว่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหารเพิ่มมากขึ้น คือเท่ากับ 18.0 22.0 29.2 และ 31.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าพลังงานในการอัดเม็ดต่ำลง คือเท่ากับ 11.0 9.7 8.7 และ 7.9 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ตามลำดับ

2. การเพิ่มความชื้นของอาหารผงหลังกระบวนการคลุกไอน้ำ เนื่องจากน้ำมีความสำคัญต่อการกระตุ้นสารเชื่อมตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร ทำให้คุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น เช่นการเติมน้ำลงในถังผสม จากรายงานของ Lundblad *et al* (2009) การทดลองเติมน้ำลงในถังผสมในอาหารสูตรอาหารสุกรระยะขุน (finishing pigs) ที่มีข้าวบาเลย์เป็นหลัก (barley-based diet) ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมน้ำในถังผสมในปริมาณ 120 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอาหาร ก่อนการคลุกไอน้ำและอัดเม็ด ในสูตรอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์เป็นหลัก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเม็ดอาหาร (pellet efficiency) ค่าความคงทนมาตรฐานและความคงทนดัดแปรของเม็ดอาหารโดยเพิ่มขึ้น 15 10 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Moritz *et al* (2001) ในอาหารไก่เนื้อระยะแรก พบว่าค่าความคงทนของเม็ดอาหารเพิ่มขึ้นจาก 51 เป็น 77 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นของอาหารผงเพิ่มขึ้นจาก 70 กรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร เป็น 140 กรัมต่อกรัมของอาหาร นอกจากนี้ Gilpin *et al* (2002) รายงานว่าคุณภาพไอน้ำที่ต่ำ ช่วยเพิ่มคุณภาพเม็ดอาหารได้ แสดงให้เห็นว่าคุณภาพไอน้ำที่สูงนั้น ไม่อาจให้ความชื้นกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาหารผงได้อย่างเพียงพอ ในกรณีที่ความชื้นของอาหารผงก่อนการคลุกไอน้ำต่ำ ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความชื้นของอาหารผงระหว่างการคลุกไอน้ำ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของไอน้ำ ระยะเวลาในการคลุกไอน้ำ ประเภทของเครื่องคลุกไอน้ำ และความชื้นของอาหารผงก่อนการคลุกไอน้ำ (Johnston *et al*, 1999; Gilpin *et al*, 2002)

สำหรับคุณภาพเม็ดอาหารนั้น เป็นอิทธิพลมาจากสูตรอาหาร (formulation) มากที่สุดคือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกระบวนการบด (grinding) 20 เปอร์เซ็นต์ การคลุกไอน้ำ (conditioning) 20 เปอร์เซ็นต์ จานอัด (die) 15 เปอร์เซ็นต์ และการลดความร้อนและความชื้นในอาหารหลังกระบวนการอัดเม็ด (drying or cooling) 5 เปอร์เซ็นต์ (Behnke, 2001) โดยสูตรอาหารที่มีแป้งมันสำปะหลังมีส่งผลต่อดีคุณภาพของเม็ดอาหาร เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเกิดการเจลาติไนซ์ได้ที่อุณหภูมิ 59-69 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืชโดยทั่วไป (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) ในระหว่างกระบวนการคลุกไอน้ำ เม็ดแป้งมันสำปะหลังจะได้รับทั้งความร้อนและความชื้นในเวลาเดียวกัน ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว และเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของแป้งเปียก (paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมตามธรรมชาติ ทำให้เม็ดอาหารมีคุณภาพดีขึ้น ทั้งความแข็งและความคงทนของเม็ดอาหาร เนื่องจากการเกิดเจลาติไนซ์ต้องการความชื้นมาก ในขณะที่อาหารระหว่างคลุกไอน้ำมีความชื้นค่อนข้างต่ำ ดังนั้นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นจึงมีเพียงแรงการจับกันระหว่างของแข็ง-ของแข็ง นอกจากนี้การเจลาติไนซ์ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ของอนุภาคอาหาร (Thomas *et al*, 1998) ดังนั้นจากผลการทดลองในครั้งนี้จึงมีคุณภาพของเม็ดอาหารไม่แตกต่างกันชัดเจน อย่างไรก็ตามการเกิดเจลาติไนส์ของแป้ง จะส่งผลดีต่อการทำงานของเอ็นไซม์ของตัวสัตว์ ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ปรีดา, 2552)

จากผลการทดลองที่ 1 ที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถตอบสมมติฐานของการทดลองที่ตั้งไว้ได้ว่าการเสริมกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์จะส่งผลทำให้ค่าพลังงานการอัดเม็ดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ยอมรับสมมติฐาน) แต่คุณภาพของเม็ดอาหารที่ได้ทั้งสองสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ปฏิเสธสมมติฐาน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2

ผลของอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารและผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะอนุบาล

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของอาหารสูตรควบคุมและสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสุกรระยะอนุบาล พบว่า สุกรที่ได้รับสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานรวมไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม คือมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 47.32 และ 47.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน เท่ากับ 38.18 และ 37.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน เท่ากับ 51.14 และ 48.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานรวมของสุกรระยะอนุบาล

	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		P –value
	0	10	
ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	47.23	47.32	0.9906
ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	37.97	38.18	0.9855
ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวม (เปอร์เซ็นต์)	48.73	51.14	0.7533

โดยปกติแล้วความสามารถในการย่อยเยื่อใยของสุกรระยะเล็กจะต่ำกว่าสุกรที่โตเต็มวัย ดังนั้นระดับเยื่อใยในอาหารจึงส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการย่อยได้ของพลังงานและสารอาหารของสัตว์ โดยเยื่อใยในอาหารมีผลทำให้ความเข้มข้นของพลังงานในอาหารลดลง และเพิ่มความฟ่ามของอาหารมากขึ้น ส่งผลต่อการย่อยได้ของสารอาหารของสุกรในภาพรวม ระดับเยื่อใยที่แนะนำในสูตรอาหารสุกรระยะเล็ก น้ำหนัก 10-12 กิโลกรัม ไม่ควรเกิน 2-3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อการกินของสัตว์ (Mavromichalis, 2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระหว่างกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดนั้น อุณหภูมิและความชื้นมีผลทำให้สารอาหารที่สำคัญในสูตรอาหาร คือ แป้ง โปรตีนและเยื่อใย ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งโครงสร้างและคุณสมบัติ โดยแป้งจะเกิดการเจลาติไนซ์ ในทางโภชนะแล้ว การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งจะช่วยให้เอ็นไซม์เข้าย่อยได้ง่ายขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของผลึกของเม็ดแป้งดิบถูกสลายไป ที่จะส่งผลให้เอ็นไซม์ของสัตว์เข้าย่อยแป้งได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชนิดของแป้งและอุณหภูมิ ยังส่งผลต่อระดับการเกิดเจลาติไนซ์ด้วย โดยแป้งข้าวโพดมีโครงสร้างของผลึกที่แน่น ทำให้เกิดการสลายโครงสร้างได้ยาก จึงมีระดับการเจลาติไนซ์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง ด้านอุณหภูมินั้น ยิ่งอุณหภูมิสูงมากขึ้น การทำลายโครงสร้างจะมีมากขึ้น ส่งผลให้ระดับการเจลาติไนซ์ของแป้งแต่ละชนิดเพิ่มสูงขึ้น สำหรับโปรตีนในอาหาร เมื่อผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด อาหารจะได้รับความร้อน ความชื้น ทำให้โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติไป (denaturation) ซึ่งส่งผลดีในด้านคุณสมบัติการเป็นสารเชื่อมตามธรรมชาติ แต่ในขณะเดียวกันการใช้อุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และหมู่อะมิโนอิสระของกรดอะมิโน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนไลซีน เรียกว่า ปฏิกิริยาเมล์ลาร์ด (Maillard-reaction) ซึ่งจะทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารลดลงได้ (Thomas *et al*, 1998) ทางด้านเยื่อใยจะเกิดการทำลายพันธะระหว่างลิกนินและเซลลูโลส (lignin-cellulose bond) ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยสูงขึ้น (Oke, 1978)

จากรายงานการวิจัยของณัฐชนกและปฐมา (2547) พบว่าการเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 70 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส แต่ในขณะเดียวกันระดับการรีโทรแกรเดชั่นและแป้งที่ต้านทานการย่อย มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน ในสภาวะของระบบการผลิตที่มีความชื้นของน้ำต่อวัตถุดิบ (แป้ง) ในสัดส่วน 0.5 ต่อ 1 ซึ่งแป้งที่เกิดการรีโทรเกรเดชั่นและแป้งที่ต้านทานการย่อยนั้น มีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร โดยเฉพาะแป้งลดลง แต่การเพิ่มระดับมันสำปะหลังในสูตรขึ้น ทำให้การเพิ่มขึ้นของแป้งที่ต้านทานการย่อยมีในระดับต่ำ

นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่เกิดจากกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดแล้วชนิดของเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบในสูตรอาหาร เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการย่อยและการดูดซึมสารอาหารของสัตว์เช่นกัน โดยจากผลการวิเคราะห์ชนิดของเยื่อใยด้วยวิธี Van Soest analysis (ตารางที่ 6) จะเห็นได้ว่ากากมันสำปะหลังมีเยื่อใยในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose, % = NDF-ADF) น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเฮมิซลลูโลสในข้าวสาลีและรำละเอียด (Tahir *et al*, 2002) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสูตรควบคุม คือ 36 และ 15 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าในกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ และเยื่อใยในกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ จะกระตุ้นอัตราการไหลของอาหารให้เร็วขึ้น ประกอบกับระบบทางเดินอาหารของสุกรระยะอนุบาลที่ยังทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (Pluske *et al*, 2006) อาจทำให้โภชนะต่างๆ ถูกย่อยและใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่เต็มที่ แต่อย่างไรก็ตามเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำ ก็ยังมีประโยชน์ในการช่วยกระตุ้นการหมักของจุลินทรีย์ที่ระบบทางเดินอาหารส่วนท้ายของสุกรหลังหย่านม ดังนั้นการใช้เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ หรือส่วนผสมของเยื่อใยที่ละลายน้ำและเยื่อในที่ไม่ละลายน้ำ จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ของสุกร และผลิตกรดบิวทีริคเพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคลดลง (Molist *et al*, 2009)

จากผลการทดลองสามารถสรุปสมมติฐานได้ว่า อาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ในสุกรระยะอนุบาลไม่แตกต่างกับอาหารสูตรควบคุม (ปฏิเสธสมมติฐาน)

การทดลองที่ 3

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ และผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

จากการศึกษาพบน้ำหนักแรกเข้าทดลองและน้ำหนักสุดท้ายของสุกรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยสุกรมีน้ำหนักเริ่มต้นของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่กินอาหารสูตรกากมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากันคือ 7.22 กิโลกรัม และมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 16.23 และ 14.71 กิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิตของสุกรพบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อวันของลูกสุกรทั้งสองกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณอาหารที่กินต่อวันเฉลี่ยของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ให้อาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 586 และ 540 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่สุกรที่ได้รับอาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.0103) โดยสุกรกลุ่มควบคุมและสุกรที่ให้อาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 322 และ 267 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio) ของสุกรที่ให้อาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยกว่าสุกรกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 2.03 และ 1.83 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ในรูปของอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะอนุบาล

	ระดับกากมันสำปะหลัง (%)		*P* –value
	0	10	
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	7.2 ± 0.1	7.2 ± 0.1	0.9404
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	16.2 ± 0.3	14.7 ± 0.5	0.3977
ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัมต่อวัน)	586 ± 20.7	540 ± 23.7	0.1664
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมต่อวัน)	322 ± 10.4[a]	267 ± 15.1[b]	0.0103
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio)	1.83 ± 0.05[a]	2.03 ± 0.04[b]	0.0110
อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	0	0	-

[a, b] อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.01)

จากรายงานวิจัยหลายฉบับ รายงานไปในทิศทางเดียวกันว่าการคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของสารอาหาร และประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรในช่วง 10 วันแรกหลังการหย่านม (Medel *et al*, 2004, ปรีดา, 2552) ข้อสังเกตประการหนึ่งที่สำคัญในการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารคือ เมื่อเสริมกากมันสำปะหลังลงในสูตรอาหาร จะต้องเพิ่มปริมาณแหล่งโปรตีน กรดอะมิโนไขมัน วิตามินและแร่ธาตุให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่มีการเสริมกากมันสำปะหลัง (ตารางที่ 5) อีกทั้งอาหารที่เสริมกากมันสำปะหลังนั้นจะมีปัญหาในเรื่องความเป็นฝุ่นและความฟ่ามของอาหาร ซึ่งอาจจำกัดปริมาณการกินอาหารของสุกรได้ (Attamangkune, 2007) ซึ่งจากการทดลองนี้ แม้ว่าจะมีการอัดเม็ดอาหารเพื่อแก้ปัญหาความฟ่ามของอาหารทดลองแล้วก็ตาม แต่เมื่อวัดความหนาแน่นของอาหารทดลองทั้งสองสูตร พบว่าความหนาแน่นของอาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าสูตรควบคุม แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างทางสถิติก็ตาม (P=0.2451) คือเท่ากับ 856.2 กรัมต่อลิตร และ 884.8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอาหารที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นลดลงจากอาหารควบคุม คิดเป็น 3.2 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7) ส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของสุกรที่กินอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ลดลงจากสูตรควบคุม คิดเป็น 7.8 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9) ซึ่งจะเห็นว่าแม้ว่าจะมีการคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารแล้ว ก็ยังมีปัญหาเรื่องความหนาแน่นของอาหารหลงเหลืออยู่ สัตว์ที่กินอาหารที่มีความหนาแน่นต่ำจะทำให้สัตว์รู้สึกอิ่มเร็วขึ้น และอาจเป็นสาเหตุทำให้สัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติได้ ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโต รวมถึงประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ จึงด้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

จากผลการทดลองขัดแย้งกับการทดลองการศึกษาของวริยา (2552) ซึ่งรายงานสามารถใช้กากมันสำปะหลังผสมในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้สูงถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเยื่อใยเท่ากับ 4.50 เปอร์เซ็นต์ ในรูปของอาหารผง โดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตายของสุกร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองในอาหารสุกรอนุบาลระยะแรก (อายุ 4-7 สัปดาห์) ที่ระดับกากมันสำปะหลัง 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารเป็นโปรตีนได้แก่ หางนม (7.50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารทุกสูตร) ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (15.69 17.04 17.95 และ 18.90 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และกากถั่วเหลือง (15.00 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารทุกสูตร) ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพดี ในขณะที่การทดลองในครั้งนี้ ใช้กากถั่วเหลือง (15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรควบคุม และ 15.9 เปอร์เซ็นต์ในสูตรกากมันสำปะหลัง) ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (10 เปอร์เซ็นต์ในทั้งสองสูตร) และกากถั่วเหลืองหมัก (8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรควบคุม และ 10.6 เปอร์เซ็นต์ในสูตรกากมันสำปะหลัง) เป็นแหล่งของโปรตีนหลัก โดยไม่การเสริมผลิตภัณฑ์นมลงในสูตรอาหารเลย ซึ่งผลิตภัณฑ์นม เป็นแหล่งของโปรตีนที่ดี สามารถย่อยได้สูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นค่อนข้างครบถ้วนและสมดุลย์ นอกจากนี้ยังเหมะสมต่อการพัฒนาระบบทางเดินอาหารของสุกร ในขณะลูกสุกรหลังจากหย่านมประมาณ 3-4 สัปดาห์ ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองได้มากนัก เนื่องจากการทำงานของเอ็นไซม์ในการย่อยสลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของโปรตีน และโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (Coffey *et al*, 2010) และอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้การใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารในการทดลองนี้ ให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองของวริยา (2552) โดยส่งผลลบต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio) ดังที่กล่าวมา

จากผลการทดลองที่ 3 สามารถตอบสมมติฐานได้ว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีกากมันปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม แต่สุกรที่ได้อาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิต ทั้งอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed converdion ratio) ด้อยกว่าสุกรที่ได้รับอาหารสูตรกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (ปฏิเสธสมมติฐาน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในภาพรวมของการทดลองทั้ง 3 การทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารสุกรระยะอนุบาล มีผลต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยการเสริมกากมันสำปะหลังทำให้ค่าพลังงานการอัดเม็ดสูงขึ้น สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ แต่คุณภาพของเม็ดอาหารไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม และเมื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของสุกรพบว่าอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม นอกจากนี้เมื่อศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ ยังพบว่าอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในรูปของอาหารอัดเม็ด ไม่ส่งผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินของสัตว์เพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้การเจริญเติบโตต่อวันและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ด้อยกว่าสูตรควบคุม ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนเริ่มทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลของกากมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร และคุณภาพเม็ดอาหาร ซึ่งได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหาร และความคงทนของเม็ดอาหาร พบว่าอาหารที่กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะเพิ่มค่าพลังงานการอัดเม็ด จาก 11.3 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันในสูตรควบคุม เป็น 16.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันในสูตรกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งนี้อันเนื่องมาจากความชื้นในกระบวนการคลุกไอน้ำ อาหารสูตรกากมันสำปะหลังมีความชื้นต่ำกว่าสูตรควบคุม ทำให้การอัดเม็ดทำได้ยากยิ่งขึ้น

2. ผลของกากมันสำปะหลังต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนและพลังงานรวม พบว่าการใช้ประโยชน์โด้ของวัตถุแห้งอาหารสูตรกากมันสำปะหลังและสูตรควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3. ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล พบว่าสุกรทั้งสองกลุ่มมีปริมาณอาหารที่กินต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่อัตราการเจริญเติบโตต่อวันและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรที่กินอาหารสูตรกากมันสำปะหลังระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ด้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ว การเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรระยะอนุบาล ในรูปของอาหารอัดเม็ดนั้น จะเพิ่มค่าพลังงานการอัดเม็ด ซึ่งหมายถึงการเพิ่มต้นทุนการผลิตอาหาร การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ด้อยลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจคุณภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลอง เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ทำให้มีความแปรปรวนสูง

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหารหลังกระบวนการอัดเม็ด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหาร มีผลกระทบต่อการสูญเสียของอาหาร และการกินของสัตว์ และควรบันทึกความหนาแน่นของอาหารผง เพื่อได้นำมาวิจารณ์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารได้ชัดเจนขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **คุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแนวทางในการขอทะเบียนสูตร**. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/inform/law/lawkks21.html, 13 พฤษภาคม 2553

กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม. 2552. **อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: http://www.diw.go.th/EMS%20for%20SMEs%20Website/page/page%2028.htm, 11 กันยายน 2552.

กรมวิชาการเกษตร. 2552. **มันสำปะหลัง**. ระบบข้อมูลทางวิชาการ. แหล่งที่มา: http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=14, 8 เมษายน 2553.

กฤติกา กาบพลอย. 2551. **การศึกษาชนิดแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคในกากมันสำปะหลังหมัก และผลการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นสารเสริมชีวนะสำหรับลูกสุกรหย่านม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จารุวัลย์ แสนปิง. 2550. **ผลการใช้กากมันสำปะหลังและใบมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลดา ซื่อสัตย์, บงกชรัตน์ ปิติยนต์, ธีรภัทร ศรีนรคุตร และ วิเชียร กิจปรีชาวนิช. 2547. การใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล, น. 450-458. *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. **เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์**. โครงการจัดตั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____และ ปฐมา จาตกานนท์. 2547. **ผลของอุณหภูมิและความชื้นในสภาวะการผลิตอาหารไก่เนื้อ ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและการย่อยได้ของแป้งมันสำปะหลังและข้าวโพด.** รายงานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2548. **อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: www.exim.go.th/doc/research/.../อุตสาหกรรมแป้งมันฯ.pdf, 9 กันยายน 2552.

นารีรัตน์ เจริญวัฒนสกุล. 2552. **ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรเล็ก รุ่น และขุนต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา คำศรี. 2552. **ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิตุนาถ หนูแสน. 2547. **การใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการใช้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรทิมล ตนสิงห์. 2551. **ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา แก้วตา. 2549. **ผลของรูปแบบอาหารและระดับกากมันสำปะหลัง ต่อกระบวนการอัดเม็ด การย่อยได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วริยา โกสุม. 2552. **ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2552. **การสำรวจภาวการณ์ผลิตและการค้ามันสำปะหลัง ฤดูกาลผลิตปี 2552/2553**. แหล่งที่มา: http://www.thaitapiocastarch.org/pdf/crop/09-10/01.pdf, 27 สิงหาคม 2552.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. มันสำปะหลัง. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2552**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2552.pdf, 9 เมษายน 2553.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2550. กากแป้งมันสำปะหลังตัวช่วยลดต้นทุน. **สุกรสาสน์** 33(131): 31-34.

สุกัญญา ทิมทอง. 2546. **ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของสุกรรุ่น-ขุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เสกสม อาตมางกูร, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, เนรมิต สุขมณี, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, ยุวเรศ เรืองพานิช, ทิพย์มน ใยเกษ และ วรรณี ชิวปรีชา. 2550. **การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสุกร.** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สินเจิมสิริ. 2532. **การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรา ลิ่มศักดา และ จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา. 2537. **ชนิดและพันธุ์มันสำปะหลัง ในเอกสารวิชาการมันสำปะหลัง**. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____. 2551. **การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์**. แหล่งที่มา : http://aggie.kps.ku.ac.th/article/art_file/2551-07-31_potatos.pdf, 11 ธันวาคม 2551.

_____ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. **ผลการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยฯ. กรุงเทพฯ.

_____, _____และ ไพฑูรย์ มูลจิตร. 2548. การใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกรอุ้มท้องและเลี้ยงลูก, น. 53-58. *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (สาขาสัตว์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกณรินทร์ ทองราม. 2550. **การทดแทนปลายข้าวด้วยกากมันสำปะหลังผสมกากตะกอนเบียร์ในสูตรอาหารรุ่น-ขุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist**. 15th ed. A.O.A.C., Washington, D.C.

ASAE. 1987. Wafers, pellets, and crumble – definitions and methods for determining density, durability and moisture content. P 346 *In* **ASAE standard S269.3, Standards Engineering Practices and Data developed and adoped by American Society of Agricultural Engineers**. The society for engineering in food and agriculture.

Attamangkune, S. 2007. Utilization of bulky feed ingredients in pig and poultry diets. *In* **15th Annual Southeast Asian Feed Technology and Nutrition Workshop**. Canrad Bali Resort, Bali, Indonesia.

Bach-Knudsen, K.E. 1997. Carbohydrate and lignin content of plant materials used in animal feeding. **Anim Feed Sci Tech** 67: 319-338.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Behnke, C. K. 2001. Factors Influencing Pellet Quality**. Feed Tech** 5(4): 19-22.

Chauynarong, N., A.V. Elangovan and P.A. Iji. 2009. The potential of cassava products in diets for poultry. **World's Poultry Science Journal** 65(1): 23-36.

Coffry, R.D., G.R. Parker, K.M. Laurent. 2010. Feeding and Managing the Weanling Pig. Collecge of Agriculture University of Kentuckey, Kentuckey, U.S.A. Available source: http://www.uky.edu/Ag/AnimalSciences/pubs/asc149.pdf, May16, 2010.

Edge, H.L., J.A. Dalby, P. Rowlinson, M.A. Varley. 2005. The effect of pellet diameter on the performance of young pigs. **Livest Prod Sci** 97(2005): 203-209.

Eliasson, C.C. 1980. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. **Stärke** 32(8): p. 270.

Gilpin, A.S., T.J. Herrman, K.C. Behnke and F.J. Fairchild. 2002. Feed moisture, retension time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process. **Appl Eng Agric** 18: 331-338.

Gomez, G.M., M. Valdivieeso, D.D. Lacuesta and T.S. Salcedo. 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole-roat cassava chips and its reduction by sun-drying. **Anim Feed Sci Tech** 8: 211-220.

Heugten, E. van. 2010. Feeding the early weaned pigs. **Proceedings of the North Carolina Healthy Hogs Seminar**. Available Source: http://www.ncsu.edu/project/swine_extension/healthyhogs/book1997/vanheugten2.htm, May 12, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Johnston, S.L., R.H. Hines, J.D. Hancock, K.C. Behnke, S.L. Traylor, B.J. Chae, I.K. Han. 1999. Effect of conditioners (standard, long-term and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. **Asian Austral J Anim** 12: 558-564.

Jordan, K. 1983**.** Manioc in livestock feeds**. Feed Comp** (Jan): 6-11.

Lim, H.K. 1967. **Use of Root Crop as Animal Feed: Cassava**. Avialable Source : http://www.fao.org/docrep/t0207e/T0207E0a.htm. September 8, 2009.

Lundblad, K.K., J.D. Hancock, K.C. Behnkec, E. Prestløkken, L.J. McKinney and M. Sørensen. 2009. The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander. **Anim Feed Sci Tech** 150: 295-302.

Marchant, J.L. and J.M. Blanshard. 1980. Changes in the birefringement characteristics of cereal starch granules at different temperatures and water activities. **Stärke** 30 (7), pp. 223–226.

Mavromichalis, I. 2006. **Aplied Nutrition for Weaning Pigs**. CABI International, USA.

Medel, P., M García, R. Lázaro, C. de Blas and G.G. Mateos. 2000. Particle size and heat treatment of barley in diets for early-weaned piglets. **Anim Feed Sci Tech** 84: 13-21.

_____, M.A. Latorre, C. de Blas, R. Lázaro and G.G. Mateos. 2004. Heat processing of cereals in mash or pellet diet for young pigs. **Anim Feed Sci Tech** 113: 127-140.

Molist, F., A. Gómez de Segura, J. Gasa, R.G. Hermes, E.G. Manzanilla, M. Anguita and J.F. Pérez. 2009. Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. **Anim Feed Sci Tech** 149: 346-353.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Moritz, J.S., R.S. Beyer, K.J. Wilson and K.R. Cramer. 2001. Effect of moisture addition at the mixer to a maize-soybean-based diet on broiler performance. **J Appl Poult Res** 10: 347-353.

_____, K.J. Wilson, K.R. Cramer, R.S. Beyer, L.J. McKinney, W.B. Cavalcanti and X. Mo. 2002. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality and broiler performance. **J Appl Poult Res** 11: 155-163.

Nakai. S., W.D. Powrie. 1981. Modification of proteins for functional and nutritional improvements. *In*: Pomeranz. Y., Munch, L., (Eds.), **Cereals: A Renewable Resource, Theory and Practice**. St. Paul, MN. pp. 217-242.

Oke, O.L. 1978. Problems in the use of cassava as animal feed. **Anim Feed Sci Tech** 3: 345-380.

Pinuliar, S.P. 1993. A Comparative Study of Cassava Refuse Meal and Rice Bran as Feeds for Growing and Finishing Pigs. **The Philippine Agriculturist** 29: 611-615.

Preston, R.L. 2002. **Typical Composition of Commonly Used Feeds for Sheep and Cattle**. Available Source: http://www.vcn.vnn. November 1, 2007.

Richardson, W. and E.J. Day. 1976. Effect of varying levels of added fat in broiler diets on pellet quality. **Feedstuffs** 48: 20 (1976), p. 24.

Salmon, R.E. 1985. Effects of Pelleting, Added Sodium Bentonite and Fat in a Wheat-based Diet on Performance and Carcass Characteristics of Small White Turkeys. **Anim Feed Sci Tech** 12: 223-232.

Serena, A., K.E. Bach-Knudsen. 2007. Chemical and physiochemical characterization of co-products from the vegetable food and agro industries. **Anim Feed Sci Tech** 139: 109-124.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Skoch, E.R., K.C. Behnke, C.W. Deyoe and S.F. Binder. 1981. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Anim Feed Sci Tech** 6: 83-90.

Tahir, M.I., A. Knalique, T.N. Pasha and J.A. Bhatti. 2002. Comparative evaluation of maize bran, wheat bran and rice bran on milk production of Holstein Friesian cattle. **International Journal of Agriculture & Biology**. Available source: http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_4_NO_4/35.pdf, May 15, 2010.

Thai Tapioca Starch Association. 2009. **Manufacturing Process Development in Thai Cassava Starch Industry**. Research & Development. Available Source : http ://www.thaitapiocastarch.org/article01.asp**,** August 28, 2009.

Thomas, M., T. van Vliet and A.F.B. van der Poel. 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Anim Feed Sci Tech** 70: 59-78.

Wisitiporn, S., P. Lounglawan and P. Noosen. 2006. Energy and Protein Evaluation Five Feedstuffs Used in Diet in Which Cassava Pulp as Main Energy Source for Lactating Dairy Cows**. Suranaree J Sci Technol** 14(1): 99-107.

Wootton, M. and A. Bamunuarachchi. 1979. Application of differential scanning calorimetry to starch gelatinization. II. Effect of heating rate and moisture level. **Stärke** 31, p. 262.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 แสดงปริมาณอาหารที่กินเป็นรายสัปดาห์ของสุกรระยะอนุบาล

ปริมาณอาหารที่กิน (กรัมต่อวัน)	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		P-value
	0	10	
สัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	334.8±13.5	357.4±20.3	0.3018
สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง	565.4±25.4	518.4±27.7	0.8213
สัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง	727.5±29.1	645.6±32.8	0.7641
สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง	716.8±33.4	639.3±39.6	0.6630

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีความคงทนของเม็ดอาหารด้วยกล่องเขย่า (ASAE, 1987)

อุปกรณ์

1. กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 5 x 12 x 12 นิ้ว หรือ 13 x 30 x 30 เซนติเมตร และภายในมีแผ่นโลหะขนาด 2 x 9 นิ้ว หรือ 5 x 23 เซนติเมตร วางทแยงภายในกล่อง และหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที

2. ตะแกรงร่อนที่มีขนาเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหาร ในที่นี้ใช้ตะแกรงร่อนฝุ่น No.10 ขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตร

3. เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ร่อนฝุ่นออกด้วยตระแกรงร่อนฝุ่นแล้ว 500 กรัม (น้ำหนักก่อนเขย่า)

2. เทตัวอย่างเม็ดอาหารลงในกล่องและเขย่าเป็นเวลา 10 นาที

3. ร่อนตัวอย่างเม็ดอาหารหลังการเขย่าเพื่อแยกฝุ่นออกจากอาหาร ด้วยตะแกรงร่อนฝุ่น

4. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อน (น้ำหนักหลังเขย่า)

5. คำนวณหาค่าความคงทนของเม็ดอาหาร โดยใช้สูตร

$$\text{Pellet Durability index; PDI (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเขย่า x 100}}{\text{น้ำหนักหลังเขย่า}}$$

หมายเหตุ: การวิเคราะห์สามารถใส่น็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 หรือ 1.27 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวลงในกล่องเพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า และใช้สูตรการคำนวณเหมือนเดิม ค่าที่ได้เรียกกว่า ค่าความคงทนดัดแปรของเม็ดอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนุจิรา ทักษิณานันต์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 ตุลาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการและประสานงานฝ่ายขาย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท บิ๊ค เคมิคอล จำกัด 333/12-13 ม.9 ถ.บางบัวทอง-สุพรรณบุรี ต.ละหาร อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110

-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์